# 1 RE-Ip 30/2004

## ÎNDREPTAR DE PROIECTARE ŞI EXECUŢIE A INSTALAŢIILOR DE LEGARE LA PÂMÂNT - INDICATIV 1 RE-$I_p$ 30/2004.

Avizat în CTS a ELECTRICA - S.A. cu PV nr.299/11.02.2004

***Instituția responsabilă de elaborarea îndreptarului: S.C ELECTRICA - S.A***

***Executant: SIER BUCUREŞTI***

***Responsabil lucrare: Ing. Mauriciu Sufrim***

## *CUPRINS*


***Pag.***

1. Generalităţi ....4
   1.1. Domeniul de aplicare ....4
   1.2. Legislaţia tehnică în vigoare ....6
   1.3. Terminologia folosită ....7

2. Valorile de calcul maxim admise ale tensiunilor de atingere şi de pas ....14
   2.1. Condiţii generale ....14
   2.2. Curenţii de calcul prin corpul omului $I_h$ ....15
   2.3. Tensiuni de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$ ....16

3. Reţele electrice de joasă tensiune ....18
   3.1. Reţele legate la pământ ....18
   3.1.1. Condiţia generală privind alegerea sistemului de protecţie ....18
   3.1.2. Protecţia prin legare la pământ schema TT ....18
   3.1.3. Instalaţii de legare la pământ pentru protecţia prin legare la nul din reţeaua de joasă tensiune (schema TN) ....19
   3.1.4. Protecţia automată la curenţi de defect (PACD) cu dispozitiv diferenţial la curent rezidual DDR. Protecţia diferenţială la curent rezidual. ....32
   3.2. Reţele izolate faţă de pământ (simbol I). Protecţia prin legare la pământ (simbol IT). ....38

4. Reţele electrice de înaltă tensiune ....40
   4.1. Reţele legate la pământ (simbol T). Protecţia prin legare la pământ în schemele $T_1T$ şi $T_2T$ ....40
   4.1.1. Condiţii generale ....40
   4.1.2. Staţii şi posturi de transformare exterioare ....41
   4.1.3. Staţii şi posturi de transformare interioare ....50
   4.1.4. Instalaţii electrice în incinta (platforma) centralelor electrice, a întreprinderilor industriale şi agricole cu circulaţie frecventă sau a staţiilor electrice din localităţi ....51
   4.1.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene ....55
   4.2. Reţelele izolate faţă de pământ (IT) ....77
   4.2.1. Condiţii generale ....77
   4.2.2. Staţii de conexiuni şi transformare ....77
   4.2.3. Posturi de transformare ....79
   4.2.4. Instalaţii electrice în incinta centralelor electrice sau a întreprinderilor industriale ....80
   4.2.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene ....80
   4.3. Cazurile în care o reţea de MT poate fi alimentată într-o schemă de abatere de la cea normală de funcţionare din staţii cu tratare diferită a neutrului faţă de tratarea neutrului în schema normală ....81

5. Prizele de pământ pentru instalaţiile de protecţie împotriva descărcărilor atmosferice ....82
   5.1. Prevederi generale ....82
   5.2. Prizele de pământ la stâlpii liniilor electrice aeriene ....83
   5.3. Prizele de pământ la centrale şi staţii ....84

ANEXE ....86
   A.1. Calculul rezistenţei de dispersie ....87
   A.2. Determinarea coeficienţilor de atingere şi de pas ....117
   A.3. Verificarea condiţiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ ....122
   A.4. Izolarea amplasamentelor ....124
   A.5. Conductoare utilizate pentru executarea instalaţiilor de legare la pământ ....125
   A.6. Obiecte lungi care ies din zona de protecţie ....128
   A.7. Determinarea curenţilor de scurtcircuit care trec prin priza de legare la pământ a stâlpilor liniilor electrice aeriene ....131
   A.8. Verificarea parametrilor unei instalaţii de legare la pământ ....134

***ÎNDREPTAR DE PROIECTARE ŞI EXECUŢIE A INSTALAŢIILOR DE LEGARE LA PĂMÂNT - INDICATIV 1 RE-$I_p$ 30/2004.***

## 1. GENERALITĂŢI

### 1.1. Domeniul de aplicare

1.1.1. Prezentul îndreptar se aplică în cazul instalaţiilor şi echipamentelor electrice din obiectivele energetice (centrale, staţii, posturi de transformare, puncte de alimentare, linii de transport şi distribuţie). ***---Se aplica si instalatiilor de utilizare ale consumatorilor!!!!!---(dl. Ing. Cardei, 2.10.2006)***

1.1.2. În cazul instalaţiilor electrice din obiectivele cu caracter special, cum sunt: tracţiunea electrică, excavaţiile subterane de telecomunicaţii, încăperile cu pericol de explozie sau altele, la proiectare şi execuţie se va ţine seama şi de prescripţiile specifice acestor instalaţii.

1.1.3. Acest îndreptar se va aplica la toate lucrările noi şi de reparaţii capitale care se execută după intrarea în vigoare. De asemenea, se va aplica şi în cazul extinderilor sau al altor modificări, în urma cărora tensiunile de atingere şi de pas se modifică, sau nu sunt îndeplinite condiţiile de stabilitate termică a instalaţiilor de legare la pământ.

1.1.4. Categoriile de instalaţii de legare la pământ sunt următoarele:

a) instalaţii de legare la pământ de protecţie împotriva electrocutărilor; la aceste instalaţii se racordează şi dispozitivele mobile de scurtcircuitare şi de legare la pământ, conform “Normelor specifice de securitate a muncii pentru transportul şi distribuţia energiei electrice MMSS, NP 65/2002;

b) instalaţii de legare la pământ de exploatare, destinate legării la pământ a unor elemente făcând parte din circuitele curenţilor normali de lucru;

c) instalaţii de legare la pământ de protecţie împotriva supratensiunilor (atmosferice sau de comutaţie);

d) instalaţii de legare la pământ pentru asigurarea condiţiilor de funcţionare a protecţiilor prin relee împotriva defectelor cu puneri la pământ respectiv la masă;

e) instalaţii de legare la pământ folosite în comun, destinate atât pentru scopuri de protecţie, cât şi pentru scopuri de exploatare a instalaţiilor electrice.

1.1.5. Elementele care trebuie legate la pământ (sau la nul în cazul schemei TN) pentru protecţia împotriva electrocutărilor sunt indicate în STAS 12604/4-89; conform acestor prevederi legarea la pământ se va executa pentru toate elementele conductoare care nu fac parte din circuitele curenţilor de lucru, dar care în mod accidental ar putea intra sub tensiune (printr-un contact direct, prin defect de izolaţie, prin intermediul unui arc electric etc.) cum sunt:

a) carcasele echipamentelor şi utilajelor fixe şi mobile (excavatoare, drăgi etc.) ale instalaţiilor electrice, inclusiv elementele de susţinere ale acestora (metalice sau din beton armat);

b) îngrădirile de protecţie (plase, uşi pline, bariere) atât cele fixe, cât şi cele mobile ori demontabile dacă au montate pe acestea aparataj şi/sau circuite electrice şi, dacă nu au un contact electric de rezistenţă electrică neglijabilă cu alte elemente racordate la instalaţia de legare la pământ;

c) elementele metalice, inclusiv armăturile metalice ale construcţiilor de beton armat, din clădirile în care sunt amplasate instalaţiile electrice de înaltă tensiune şi care nu pot fi atinse de persoanele din interiorul sau exteriorul încăperii respective (scări, rame de uşi şi ferestre, conducte metalice etc.);

d) stâlpii metalici sau din beton armat ai liniilor electrice aeriene (LEA) din zonele cu circulaţie frecventă din localităţi; în toate cazurile va fi asigurată continuitatea electrică, până la priza de pământ, între armăturile, suporturile metalice ale izolatoarelor, traversele şi consolele metalice şi armătura stâlpului metalic sau din beton armat.

În cazul în care, prin construcţie, suporturile izolatoarelor, traversele sau consolele, sunt în contact electric cu armătura metalică a stâpului de beton armat sau cu stâlpul metalic, nu mai este necesară o legare suplimentară a acestora la pământ. În cazul stâlpilor de lemn, legarea la pământ a acestor elemente este obligatorie numai dacă stâlpul de lemn este şuntat prin elemente metalice (de exemplu, conductoare de coborâre, cabluri armate etc.);

e) suporturile de fixare ale lanţurilor la intrările conductoarelor în clădiri, precum şi armăturile metalice ale trecerilor izolante prin pereţi, plăcile din materiale electroizolante destinate traversărilor de conductoare prin pereţi vor fi încadrate (individual sau în comun) cu câte o ramă metalică legată la pământ;

f) armăturile, ecranele şi învelişurile metalice ale tuturor cablurilor electrice (de energie, comandă-control, telemecanică etc.), inclusiv ale celor cu înveliş exterior din PVC, cu excepţia acelora la care din considerente de funcţionare este interzisă o astfel de legare la pământ;

g) construcţiile (stelajele) metalice de susţinere a cablurilor electrice; dacă diferite elemente ale construcţiei stelajului de cabluri (console, scăriţe, longeroane etc.) sunt legate galvanic între ele (respectiv, se asigură continuitatea electrică prin sudură sau piese metalice de îmbinare), legarea la pământ se va putea face numai la extremităţile construcţiei; învelişurile metalice ale cablurilor vor fi legate la pământ la capete, iar la cutiile de îmbinare şi derivaţie se vor realiza continuitatea electrică a armăturilor şi a învelişurilor metalice ale cablurilor;

h) bornele speciale pentru legarea la pământ de protecţie a transformatoarelor de măsură, descărcătoarelor şi a eclatoarelor de orice tip; aceste borne vor fi marcate cu semnul de legare la pământ de protecţie;

i) conductoarele de protecţie ale liniilor electrice aeriene; acestea se vor lega la prizele de pământ de la toţi stâlpii şi ale staţiilor electrice de la capetele liniilor respective.

j) consolele metalice ale branşamentelor consumatorilor de j.t montate pe acoperiş cu învelitoare metalică; în cazul schemei TN se va realiza legarea la conductorul de nul PEN sau PE al branşamentului.

1.1.6. Pentru legarea la pământ de protecţie, la carcase şi la elementele de susţinere trebuie prevăzute borne speciale marcate cu semnul de legare la pământ de protecţie.

1.1.7. Nu este obligatorie legarea la pământ de protecţie a următoarelor elemente:

a) armăturile metalice ale izolatoarelor, traversele, consolele şi corpurile de iluminat montate pe stâlpii de lemn sau pe alte construcţii din lemn ale liniilor şi staţiilor electrice de tip exterior, dacă legarea la pământ nu este condiţionată de protecţia împotriva supratensiunilor atmosferice sau dacă porţiunea pe stâlpi dintre aceste elemente şi sol (sau faţă de conductorul de protecţie) nu este şuntată prin elemente conductoare (învelişul metalic sau armătură metalică a unui cablu, un tub metalic de protecţie etc.);

b) împrejmuirile (gardurile) incintelor la staţiile electrice exterioare;

c) elementele metalice pentru protecţia împotriva solicitărilor mecanice la treceri prin pereţi şi planşee, brăţările de fixare a cablurilor pe pereţi, precum şi consolele şi traversele metalice ale rastelelor (paturilor) de cabluri, dacă longeroanele lor de susţinere sunt legate la pământ;

d) carcasele metalice ale aparatelor de măsură, ale releelor şi ale altor aparate montate pe tablouri, panouri, dulapuri, pupitre sau pereţi, care au un contact sigur de rezistenţă electrică neglijabilă cu elementele lor de susţinere, iar acestea sunt legate la rândul lor la instalaţiile de legare la pământ de protecţie;

e) elementele metalice demontabile sau care se pot deschide, dacă au un contact electric de rezistenţă neglijabilă cu construcţiile metalice legate la pământ, când instalaţiile respective sunt în funcţiune, sau dacă nu au aparataj şi/sau circuite electrice montate pe acestea;

f) elementele aparţinând instalaţiilor electrice cu tensiuni nominale de maximum 380 V c.a. între faze şi 440 V c.c. în încăperi având caracter de locuri de muncă puţin periculoase, conform STAS 8275/1987 (de exemplu încăperi de producţie, laboratoare sau birouri uscate, aerisite, cu temperaturi de cel mult $30^0$ C şi cu pardoseli electroizolante uscate, din lemn, asfalt, cauciuc etc.) cu condiţia ca distanţa minimă dintre echipamentele electrice sau între acestea şi obiectele matalice legate la pământ să fie de 0,8 m pentru locuinţe sau încăperile administrative şi de 1,25 m pentru încăperile industriale.

1.1.8. Nu este obligatorie racordarea la instalaţia de legare la pământ, prin conductor de ramnificaţie, individual, a carcaselor metalice sau elementelor de susţinere montate pe un panou, tablou, pupitru, celulă sau altă construcţie metalică sau de beton armat dacă sunt în contact electric permanent de rezistenţă neglijabilă cu construcţia respectivă, iar aceasta este legată la pământ.

Se consideră contact electric de rezistenţă neglijabilă contactul realizat prin sudură, prin şuruburi şi şaibe elastice cu dinţi sau evantai, sau prin suprafeţe pregătite şi înşurubare asigurată cu şaibe elastice.

Două sau mai multe tablouri, pupitre sau celule alăturate şi aflate în contact electric permanent de rezistență neglijabilă între ele, pot constitui un singur ansamblu care se va racorda la instalația de legare la pământ prin două conductoare de ramificație în două puncte distincte dispuse la extremitățile ansamblului.

1.1.9. În incinta unei întreprinderi industriale sau pe o platformă industrială se va realiza totdeauna o rețea generală de legare la pământ, prin legarea între ele a tuturor instalațiilor de legare la pământ din incintă sau platforma respectivă, inclusiv cele aferente instalațiilor de joasă tensiune şi se vor îndeplini condițiile impuse instalațiilor de legare la pământ folosite în comun.

1.1.10. În cazul folosirii în comun a instalației de legare la pământ în conformitate cu pct.1.1.9. pentru defectele pe partea de înaltă tensiune, atât la echipamentele electrice de joasă tensiune, cât şi la cele de înaltă tensiune, se vor respecta valorile tensiunilor de atingere şi de pas indicate în STAS 2612-87 şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă, în funcție de timpul de deconectare a curentului de punere la pământ (curentul prin priza de pământ) şi categoria rețelei. Fac excepție incintele îngrădite ale instalațiilor electrice, unde are acces numai personalul de specialitate şi pentru care se vor respecta valorile indicate în STAS 2612-87 şi tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație redusă.

1.1.11. În cazul lucrărilor miniere şi în cariere, se admite ca rețeaua generală de legare la pământ din excavațiile subterane să fie separată de rețeaua de legare la pământ care deserveşte instalațiile de înaltă tensiune de la suprafață.

1.1.12. O priză de pământ (naturală şi/sau artificială) poate fi folosită în comun pentru două sau mai multe instalații de legare la pământ din catogoriile menționate la pct.1.1.4 din prezentul îndreptar.

1.1.13. Se admite folosirea în comun a unei prize de pământ pentru instalațiile de protecție împotriva electrocutărilor şi pentru instalațiile de paratrăsnet, cu condiția ca rezistența de dispersie a prizei de pământ folosită în comun să fie mai mică sau cel mult egală cu 1Ω.

De regulă, conductoarele de legare la pământ a instalației de paratrăsnete vor fi separate până la priza de pământ față de celelalte categorii de instalații.

De la această prevedere fac excepție clădirile (construcțiile) cu structură metalică sau de beton armat, la care aceasta poate fi utilizată drept conductor de legare la priza de pământ comună pentru toate categoriile de instalații.

1.1.14. În cazul instalațiilor de curent continuu, instalațiile de legare la pământ de protecție se vor dimensiona, respectându-se, de regulă, aceleaşi condiții ca şi în cazul instalațiilor electrice de curent alternativ, cu excepția valorilor maxime admise ale tensiunilor de atingere şi de pas care sunt diferite (tabelul 2.2 din prezentul îndreptar).

În cazul prizelor de pământ de exploatare prin care trec în permanență curenți de lucru se vor lua măsuri speciale de protecție împotriva corodării electrozilor acestor prize la trecerea curentului continuu.

1.1.15. În cazul instalațiilor de curent continuu este interzisă folosirea elementelor naturale drept prize de pământ de exploatare dacă prin acestea trec curenți de lucru în funcționarea normală.

## 1.2. Legislația tehnică în vigoare

*1.2.1. Standarde*

STAS 8275-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie.
STAS 2612-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admise.
STAS 12604-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Condiții generale.
STAS 12604/4-89. Protecția împotriva electrocutărilor. Instalații electrice fixe. Prescripții generale.
STAS 12604/5-90. Protecția împotriva electrocutărilor. Instalații electrice fixe. Prescripții de proiectare, execuție şi verificare.
STAS SR CEI 755-1995. Reguli generale pentru dispozitive de protecție la curent rezidual diferențial.
STAS 4102-1985. Piese pentru instalații de protecție prin legare la pământ.
STAS 832-1979. Influențe ale liniilor de energie electrică asupra liniilor de telecomunicații.

Limite admise şi condiţii de calcul (cu anexa B privind reţelele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă din 1988); aflat în revizuire.

STAS 6290-1980. Încrucişări între liniile de energie electrică şi liniile de telecomunicaţii; aflat în revizuire.

STAS SR 831-2001. Utilizarea în comun a stâlpilor pentru linii aeriene de energie electrică urbană, instalaţii de telecomunicaţii, reţele de televiziune prin cablu ($CAT_V$) şi alte utilităţi.

*1.2.2. Normative, norme, instrucţiuni, fişe tehnologice*

NP I-7-2002. Normativ pentru proiectare şi executarea instalaţiilor electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a şi 1500 V c.c.

NP I-20-1994. Normativ privind protecţia construcţiilor.

Norme generale de protecţia muncii. (Aprobate cu ordinul MMPS nr. 578/1996 şi Ordinul Ministerului Sănătăţii nr. 5840/1996).

NP 65/2002. Norme specifice pentru securitatea muncii pentru transportul şi distribuţia energiei electrice - MMSS.

NP 111/2001. Norme specifice pentru securitatea muncii la utilizarea energiei electrice în medii normale.

NTE 001/03/00. Normativ privind alegerea izolaţiei, coordonarea izolaţiei şi protecţia instalaţiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.

PE 501/1985. Normativ privind proiectarea protecţiilor prin relee şi a automatizărilor instalaţiilor electrice ale centralelor şi staţiilor.

PE 116/1994. Normativ de încercări şi măsurători la echipamente şi instalaţii electrice.

$1E\text{-}I_p$ 35/1-1990. Îndreptar de proiectare pentru reţele de medie tensiune cu netrul tratat prin rezistenţă. Protecţia în staţii şi posturi de transformare; aflat în revizuire.

$1RE\text{-}I_p$ 35/2-1992. Idem. Instalaţii de legare la pământ pentru linii aeriene, cabluri subterane, staţii şi posturi de transformare; aflat în revizuire.

$1.E\text{-}I_P$ 31-86. Instrucţiuni de proiectare şi execuţie a legăturilor pilot din punct de vedere al protecţiei împotriva influenţelor prin cuplaj inductiv şi rezistiv.

3.RE-I 23/1974. Instrucţiuni pentru exploatarea şi întreţinerea instalaţiilor de legare la pământ.

F - 1E - 8/1974. Fişă tehnologică. Instalaţii electrice. Executarea instalaţiilor de legare la pământ.

$1.RE\text{-}I_p$ 6-1976. Îndreptar de proiectrae pentru prize de pământ cu bentonită.

3.RE-FT 61-77. Execuţia şi verificarea prizelor de pământ cu bentonită.

$3.RE\text{-}I_P$ 41-92. Instrucţiuni de proiectare şi exploatare privind protecţia influenţelor datorate apropierilor dintre liniile electrice aeriene.

3 L-I-225 - 2002. Instrucţiuni de aplicare a standardului STAS 831-2002.

1RE-I-226-2002. Instrucţiuni de realizare a protecţiilor împotriva supratensiunilor în instalaţiile electrice de joasă tensiune.

1RE-I-227-2002. Instrucţiuni de determinare prin măsurări a tensiunilor de atingere şi de pas la instalaţiile din sistemul de distribuţie a energiei electrice.

**1.3. Terminologia folosită**

Terminologia specifică în sensul prezentului îndreptar este următoarea:

1.3.1. Stâlpul cu aparataj este stâlpul cu siguranţe, întreruptoare, separatoare, transformatoare de putere şi de măsură, descărcătoare prevăzute cu contoare, bobine, condensatoare, cutii metalice de cabluri, sau alte aparate asemănătoare; nu intră în această categorie stâlpii cu descărcătoare fără contoare, aceşti stâlpi fiind consideraţi ca şi stâlpii fără aparataj.

1.3.2. Limitele unei instalaţii de legare la pământ sunt liniile determinate de punctele de amplasare ale electrozilor marginali (extremi) ai prizelor de pământ legate galvanic între ele cu conductoare îngropate în pământ.

1.3.3. Zonele din localităţi sunt zonele cuprinse în perimetrul construibil al localităţii.

1.3.4. Incinta industrială este teritoriul delimitat de împrejmuirile exterioare (gardurile) ale unei unităţi industriale.

1.3.5. Incinta agricolă este teritoriul delimitat de împrejmuirile exterioare (gardurile) ale unei unități agricole.

1.3.6. Incinta agricolă cu circulație frecventă este incinta îngrădită şi supravegheată permanent în care se desfăşoară procese tehnologice de prelucrare şi depozitare în amenajări speciale a produselor agricole (prelucrarea furajelor, sortarea fructelor etc.), fermele zootehnice, silozuri colectoare şi stațiile de maşini agricole.

1.3.7. Zona (incinta) agricolă cu circulație redusă este zona neîngrădită care nu intră în categoria incintelor agricole cu circulație frecventă (pct.1.3.6), cum sunt culturile mari, îngrădirile cu legume, livezile cu pomi, viile (cu sau fără spaliere) etc.

Terminologie conform STAS 8275-1987

| Nr.crt. | Termen | Definiție |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 |
| 1.3.8 | Electrocutare | Efect fiziopatologic determinat de trecerea unui curent electric prin corpul omului. |
| 1.3.9 | Zona de manipulare<br>Sinonim: volum de accesibilitate | Spațiul în care staționează sau circulă oameni şi care este limitat de către suprafața pe care omul o poate atinge fără mijlocirea unui obiect. Acesta are dimensiunile minime conform fig.1 (conform STAS 8275). |
| 1.3.10 | Sistem de protecție | Ansamblul de două sau mai multe mijloace şi/sau măsuri de protecție. |
| 1.3.11 | Loc de muncă puțin periculos | Spațiu care în condiții normale este caracterizat simultan prin următoarele condiții:<br>- umiditate relativă a aerului, maximum 75%, la temperatura aerului cuprinsă între 15 ... 30$^0$ C;<br>- pardoseala (amplasament) izolantă. |
| 1.3.12 | Mediu periculos<br>Sinonim: loc de muncă periculos | Spațiu caracterizat prin cel puțin una din următoarele condiții:<br>- umiditatea relativă a aerului, peste 75%, dar cel mult 97% la temperatura aerului peste 30$^0$ C (dar cel mult 35$^0$ C);<br>- pardoseală cu proprietăți conductoare (beton, pământ);<br>- parte conductoare în legătură electrică cu pământul care ocupă cel mult 60% din zona de manipulare;<br>- prezență de pulberi conductoare (pilitură de metal, grafit etc.);<br>- prezență de fluide care micşorează impedanța corpului uman. |
| 1.3.13 | Mediu foarte periculos<br>Sinonim: loc de muncă foarte periculos | Spațiu caracterizat prin cel puțin una din următoarele condiții:<br>- umiditatea relativă a aerului peste 97% la temperatura aerului peste 35$^0$ C;<br>- părți conductoare în legătură electrică cu pământul care ocupă mai mult de 60% din zona de manipulare;<br>- prezență de agenți corozivi. |
| 1.3.14 | Atingere directă | Atingerea de către om nemijlocită sau prin intermediul unui element conductor a părților active ale unei instalații electrice |
| 1.3.15 | Atingere indirectă | Atingerea de către om a unor părți intrate accidental sub tensiune datorită unui defect electric. |
| 1.3.16 | Echipament electric | Ansamblu de elemente destinat producerii, transportului, distribuției, acumulării, măsurării, |

| | | |
|---|---|---|
| | | transformării sau utilizării energiei electrice. |
| 1.3.17 | Echipament (utilaj) electric fix | Echipament care are racord fix şi amplasament fix şi care nu poate fi deplasat sub tensiune.<br>OBSERVAȚIE: Fixarea echipamentului se efectuează prin şuruburi, sudură sau greutate proprie. |
| 1.3.18 | Echipament (utilaj) electric mobil | Echipament care are racord mobil, amplasament variabil şi a cărui deplasare, dirijare, sprijinire se efectuează de către om sau prin mijloace proprii. Schimbarea amplasamentului se poate face cu sau fără întreruperea alimentării cu energie electrică. |
| 1.3.19 | Echipament (utilaj) electric portabil | Echipament care are racord mobil şi a cărui greutate este suportată de om în totalitate în timpul exploatării. |
| 1.3.20 | Punct neutru<br>Sinonim: neutru | Punct comun al părților active ale sursei de tensiune ale cărui diferențe de potențial, în valori absolute, față de fiecare conductor activ (fază) sunt egale în funcționare normală. |
| 1.3.21 | Punctul de nul<br>Sinonim: nul | Neutru legat la o priză de pământ printr-o rezistență electrică neglijabilă. |
| 1.3.22 | Schemă de protecție | Schemă în care se reprezintă situația punctului neutru al sursei de tensiune şi a maselor echipamentelor sau utilajelor electrice, în raport cu pământul (masa).<br>OBSERVAȚIE: Schemele de legare la pământ sunt notate cu simboluri convenționale literale, cu următoarele semnificații:<br>-prima literă indică situația punctului neutru al sursei de tensiune în raport cu pământul (masa);<br>-a doua literă indică situația maselor echipamentelor sau utilajelor electrice în raport cu pământul. |
| 1.3.23 | SchemăTT | Schemă în care cel puțin un punct al părților active ale sursei de tensiune este legat direct sau printr-o rezistență de valoare mică la o priză de pământ (T), iar masele echipamentelor sau utilajelor electrice sunt legate la o priză de pământ (T).<br>OBSERVAȚIE: Litera T provine de la cuvântul francez - terre - (pământ) şi este o convenție internațională. |
| 1.3.24 | Schemă TN | Schemă în care cel puțin punctul neutru al sursei de tensiune este legat la priza de pământ (T), iar masele echipamentelor (utilajelor) electrice sunt legate la nul (N). |
| 1.3.25 | Schemă IT | Schemă în care toate părțile active ale sursei de tensiune sunt izolate față de pământ sau punctul neutru al acestei surse este legat la pământ, printr-o impedanță de valoare mare, iar masele echipamentelor sau ale utilajelor electrice sunt legate direct la pământ (T).<br>OBSERVAȚIE: Litera I provine de la cuvântul “izolat”. |
| 1.3.26 | Bornă de protecție | Bornă prevăzută pentru legarea unui conductor de protecție. |
| 1.3.27 | Bară de protecție | Element conductor prevăzut cu mai multe borne de protecție la care se leagă conductoare de protecție. |
| 1.3.28 | Zonă de potențial nul.<br>Sinonim: pământ de referință | Zonă în care tensiunea între două puncte ale suprafeței solului este mai mică de 0,3% pe metru din tensiunea totală a prizei, la trecerea curentului de defect prin acesta. |
| 1.3.29 | Zonă cu circulație frecventă | Zonă neîngrădită care se află la o distanță mai mică sau egală cu 15 m, de drumuri, şosele, îngrădirile |

| | | |
|---|---|---|
| | | locuințelor, unităților industriale sau agricole, accesibilă şi altor persoane decât cele care fac parte din personalul de exploatare. |
| 1.3.30 | Zonă cu circulație redusă | Zonă îngrădită în care are acces numai personalul special instruit, precum şi zona aflată la distanță mai mare cu 15 m, de drumuri, şosele, locuințe sau îngrădirile acestora. |
| 1.3.31 | Punere la pământ | Atingerea accidentală între o parte activă şi pământ sau o parte conductoare în contact cu pământul. |
| 1.3.32 | Punere la masă | Atingerea accidentală între o parte activă şi masă. |
| 1.3.33 | Rezistența electrică de calcul a corpului omului | Rezistența electrică a corpului omului considerată în calculul de dimensionare şi verificare a instalațiilor împotriva electrocutării. |
| 1.3.34 | Timpul de deconectare | Durata între producerea defectului şi deconectarea circuitului defect de la sursa de alimentare cu energie electrică. |
| 1.3.35 | Masă | Parte conductoare a unui echipament (utilaj) accesibilă, care poate fi atinsă direct de om şi care poate fi pusă sub tensiune sau voit în cazuri speciale.<br>OBSERVAȚII:<br>1. Exemple de masă: carcasele metalice care sunt izolate de părțile active ale echipamentelor;<br>2. Exemple de masă ca parte conductoare active sau la care se leagă părțile active ale circuitelor de comandă, carcasele unor aparate electronice, şinele căilor ferate electrificate, şinele de tranvai, etc. |
| 1.3.36 | Conductor de protecție (simbol PE) | Conductor utilizat pentru realizarea protecției împotriva electrocutării şi care leagă masele cu:<br>- alte mase;<br>- o priză de pământ;<br>- un conductor de nul sau cu un alt conductor legat la pământ (la masă);<br>- o parte conductoare străină;<br>- dispozitive de protecție. |
| 1.3.37 | Conductor de protecție principal | Conductor comun la care se leagă electric conductoare de protectie de ramificație. |
| 1.3.38 | Conductor de protecție de ramificație | Conductor prin care se stabileşte legătura dintre o masă şi un conductor de protecție principal. |
| 1.3.39 | Conductor de egalizare a potentialelor | Conductor de protecție, destinat aducerii la acelaşi potențial a maselor şi a părților conductoare străine. |
| 1.3.40 | Conductor neutru (simbol N) | Conductor legat la punctul neutru destinat transportului energiei electrice. |
| 1.3.41 | Conductor median (simbol M) | Conductor legat la punctul median al sursei de tensiune continuă şi parcurs de curent electric. |
| 1.3.42 | Conductor de nul folosit în comun (simbol PEN) | Conductor care îndeplineşte în acelaşi timp funcțiile de conductor de nul de protecție şi de conductor de nul de lucru. |
| 1.3.43 | Conductor de legare la priza de pământ | Conductor prin care se stabileşte legătura dintre priza de pământ şi conductorul principal de legare la pământ sau rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ. |
| 1.3.44 | Conductor de nul | Conductor care se leagă la nul. |
| 1.3.45 | Conductor de nul de protecție | Conductor de protecție prin care se leagă masele la punctul de nul. |
| 1.3.46 | Conductor de nul de lucru | Conductor legat la punctul de nul destinat a transporta energie electrică. |

| | | |
|---|---|---|
| 1.3.47 | Tensiune joasă | Tensiunea de lucru, aflată în următoarele limite:<br>- cel mult 250 V față de pământ în cazul rețelelor legate la pământ;<br>- cel mult 1000 V între faze (conductoare sau borne) în cazul rețelelor izolate față de pământ. |
| 1.3.48 | Tensiune înaltă | Tensiunea de lucru mai mare decât tensiunea joasă. |
| 1.3.49 | Tensiunea de atingere | Parte din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul aflat la o distanță de 0,8 m față de masa pe care o atinge (a se vedea fig.8).<br>OBSERVAȚIE: În cazul verificărilor prin măsurări, distanța față de masă se consideră cel puțin egală cu 1 m. |
| 1.3.50 | Tensiunea de pas | Parte din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul când atinge simultan două puncte de pe sol, pe direcția gradientului de potential, aflate la o distanță de 0,8 m între ele (a se vedea fig.8).<br>OBSERVAȚIE: În cazul verificărilor prin măsurări, lungimea pasului se consideră de 1 m. |
| 1.3.51 | Coeficient de atingere | Raport dintre tensiunea de atingere şi tensiunea instalației de legare la pământ. |
| 1.3.52 | Coeficient de pas | Raport dintre tensiunea de pas şi tensiunea instalației de legare la pământ. |
| 1.3.53 | Tensiunea prizei de pământ | Tensiunea ce apare între priza de pământ şi zona de potențial nul la trecerea unui curent prin priza de pământ. |
| 1.3.54 | Tensiunea instalației de legare la pământ | Tensiunea ce apare între locul de intrare a curentului în instalația de legare la pământ şi zona de potențial nul la trecerea unui curent prin instalația de legare la pământ. |
| 1.3.55 | Tensiunea redusă<br>Sinonim: tensiune foarte joasă | Tensiunea de lucru a echipamentelor electrice care nu depăşeşte 50 V în curent alternativ şi 120 V în curent continuu şi care se foloşeşte ca măsură de protecție împotriva electrocutării, în condițiile din STAS 2612-1987.<br>OBSERVAȚIE: Valorile tensiunii reduse se stabilesc în funcție de standardele de produs. |
| 1.3.56 | Protecție împotriva atingerilor directe | Ansamblul măsurilor de protecție prin care se asigură protecția omului împotriva electrocutării prin atingere directă. |
| 1.3.57 | Protecție împotriva atingerilor indirecte | Ansamblul măsurilor de protecție prin care se asigură protecția omului împotriva electrocutării prin atingere indirectă. |
| 1.3.58 | Protecție prin legare la pământ | Măsură de protecție împotriva electrocutării, care constă în legarea maselor la o priză de pământ. |
| 1.3.59 | Protecția prin legare la nul | Măsură de protecție împotriva electrocutării, care constă în legarea maselor la nul. |
| 1.3.60 | Instalație de legare la nul | Ansamblul conductoarelor de nul de protecție şi al instalațiilor de legare la pământ destinat protecției prin legare la nul. |
| 1.3.61 | Protecție prin separare | Măsură de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă, care constă în alimentarea unui echipament electric cu ajutorul unui transformator de separare sau a unui grup motor generator. |
| 1.3.62 | Egalizarea potențialelor | Măsură de protecție împotriva electrocutării care constă în reducerea tensiunii de contact între mase |

| | | |
|---|---|---|
| | | sau între acestea şi părţile conductoare străine. |
| 1.3.63 | Dirijarea distribuţiei potenţialelor | Măsură de protecţie care constă în modificarea distribuţiei potenţialelor printr-o anumită dispunere a electrozilor prizei de pământ în scopul micşorării tensiunilor de atingere şi de pas. |
| 1.3.64 | Protecţie prin izolarea amplasamentului | Măsură ce constă în izolarea principală sau suplimentară a echipamentelor electrice şi elementelor conductoare străine în contact cu pământul din zona de manipulare care asigură:<br>- protecţia împotriva trecerii unor valori periculoase de curent prin om, la atingerea părţilor active sau la lucrul sub tensiune;<br>- micşorarea tensiunilor de contact (atingere) şi de pas. |
| 1.3.65 | Protecţie automată prin controlul rezistenţei de izolaţie | Măsură utilizată în schemele IT, care asigură semnalizarea şi/sau deconectarea unui defect de izolaţie a unui conductor activ faţă de pământ (masă). |
| 1.3.66 | Protecţie automată împotriva curenţilor de defect (simbol PACD) | Măsură ce asigură deconectarea rapidă şi automată a alimentării cu energie electrică a unei instalaţii, unui echipament sau utilaj în cazul apariţiei unui curent de defect. |
| 1.3.67 | Protecţie automată împotriva tensiunilor de contact (simbol PATC) | Măsură ce asigură deconectarea alimentării cu energie electrică a unui echipament sau utilaj în cazul apariţiei unor tensiuni de contact periculoase. |
| 1.3.68 | Pământ | Sol cu proprietăţi conductoare al cărui potenţial se consideră prin convenţie nul, în afara zonei de influenţă a prizelor de pământ. |
| 1.3.69 | Rezistivitatea pământului | Rezistenţa electrică între două feţe opuse ale unui cub de pământ, cu latura de un metru. |
| 1.3.70 | Priză de pământ | Element conductor sau ansamblu de elemente conductoare (electrozi) în contact cu pământul pentru trecerea curentului în sol. |
| 1.3.71 | Priză de pământ artificială | Priză de pământ construită special pentru conducerea curentului în sol. |
| 1.3.72 | Priză de pământ naturală | Element conductor sau ansamblu de elemente conductoare al unei construcţii sau instalaţii, care îndeplineşte şi condiţiile unei prize de pământ. |
| 1.3.73 | Priza de pământ locală | Priză de pământ simplă sau multiplă care deserveşte un echipament sau un grup de echipamente (utilaje) electrice alăturate. |
| 1.3.74 | Priză de pământ simplă | Priză de pământ construită dintr-un singur electrod. |
| 1.3.75 | Priză de pământ multiplă | Priză de pământ construită din mai multe prize simple de acelaşi fel. |
| 1.3.76 | Priză de pământ complexă | Priză de pământ construită din două sau mai multe feluri de prize simple (orizontale sau verticale), legate electric între ele. |
| 1.3.77 | Priză de pământ de suprafaţă | Priză de pământ constituită din elelctrozi îngropaţi la adâncimea de cel mult 1 m de la suprafaţa solului. |
| 1.3.78 | Priză de pământ de adâncime | Priză de pământ constituită din electrozi îngropaţi la o adâncime cuprinsă între 1 ... 4 m. |
| 1.3.79 | Priză de pământ de mare adâncime | Priză de pământ constituită din electrozi îngropaţi la o adâncime de peste 4 m. |
| 1.3.80 | Priză de pământ pentru egalizarea potenţialelor | Priză de pământ, de regulă, multiplă, care, în funcţie de forma şi dispoziţia electrozilor, serveşte la egalizarea potenţialelor. |
| 1.3.81 | Priză de pământ pentru dirijarea | Priză de pământ complexă care în funcţie de forma şi |

| | | |
|---|---|---|
| | distribuției potențialelor | dispoziția electrozilor, serveşte la obținerea unei anumite distribuții a potențialelor. |
| 1.3.82 | Prize de pământ electric distincte | Prize de pământ depărtate una de alta, astfel încât curentul care trece printr-una din ele nu modifică potențialul celorlalte prize. |
| 1.3.83 | Priză de pământ de fundație | Priză ale cărei elemente sunt înglobate în betonul fundației. |
| 1.3.84 | Rezistența de dispersie a unei prize de pământ | 1. Rezistența electrică a pământului între electrozii prizei de pământ şi zona de potential nul;<br>2. Raport dintre tensiunea prizei de pamânt şi curentul de punere la pământ prin priză. |
| 1.3.85 | Instalație de legare la pământ | Ansamblu format din conductoarele de legare la pământ şi priza de pământ prin care se realizează legarea la pământ. |
| 1.3.86 | Instalație de legare la pământ de protecție | Instalație cu ajutorul căreia se realizează protecția prin legarea la pământ. |
| 1.3.87 | Instalație de legare la pământ de exploatare (de lucru) | Instalație prin care se realizează legarea la pământ a unui punct al părților active ale unei rețele. |
| 1.3.88 | Instalație de legare la pământ folosită în comun | Instalație prin care se realizează simultan funcțiile de protecție şi de exploatare. |
| 1.3.89 | Instalație de legare la pământ pentru măsurare | Instalație utilizată pentru măsurarea unor parametri electrici ai instalației de legarea la pământ. |
| 1.3.90 | Instalație de legare la pământ pentru executarea de lucrări. | Instalație realizată cu scopul legării la pământ a unor părți active scoase de sub tensiune pentru executarea unei lucrări. |
| 1.3.91 | Instalație (rețea) generală de legare la pământ | Totalitatea instalațiilor de legare la pământ (legate între ele) dintr-o incintă sau platformă industrială. |
| 1.3.92 | Rezistență de dispersie a unei instalații de legare la pământ | 1. Rezistența de dispersie rezultantă a prizelor de pământ şi conductoarelor de legătură dintre acestea ce constituie instalația;<br>2. Raport dintre tensiunea instalației de legare la pământ şi curentul de trecere la pământ prin priză. |

Terminologie pentru protecția PACD cu DDR:

1.3.93. Conductoare active (de lucru): ansamblul conductoarelor unui circuit destinat alimentării cu energie electrică, inclusiv conductorul de nul de lucru N. Elementele conductoare de curent electric ale consumatorului pentru functionarea normală a instalației (receptoarelor) electrice se numesc părți active (de lucru).

1.3.94. Masa: părțile conductoare de curent care pot fi atinse de om şi care în mod normal sunt izolate față de părțile active, dar care accidental pot intra sub o tensiune periculoasă (la un defect de izolație); exemple: carcase şi ecranări metalice, elemente de susținere etc.

1.3.95. Curent de defect $I_d$: curentul rezultat la un defect de izolație.

1.3.96. Curent diferențial rezidual $I_\Delta$: valoarea eficace a sumei vectoriale a curenților care trec prin conductoarele active a unui circuit într-un punct al instalației.

1.3.97. Curent diferențial rezidual nominal $I_{\Delta n}$: curentul diferențial rezidual $I_\Delta$ pentru care este dimensionată protecția PACD cu DDR.

1.3.98. Curent diferențial rezidual de funcționare $I_f$: valoarea curentului diferențial rezidual minim care poate provoca (determina) funcționarea dispozitivului diferențial la curent rezidual DDR; acest curent se defineşte prin relația pentru $20^0$ C: $(I_{\Delta n}) / 2 \le I_f \le I_{\Delta n}$.

1.3.99. Conductor de nul de lucru N: conductor de nul folosit exclusiv drept conductor activ.

1.3.100. Conductor de protecție PE: conductor folosit exclusiv pentru legături de protecție în vederea asigurării condițiilor de funcționare a DDR. Conductorul de nul folosit în comun pentru

lucru şi pentru protecţie PEN este conductorul folosit atât drept conductor activ N cât şi drept conductor de protecţie PE.

## 2. VALORILE DE CALCUL MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR DE ATINGERE ŞI DE PAS

### 2.1. Condiţii generale

2.1.1. În conformitate cu legislaţia tehnică în vigoare, STAS 2612-87 şi STAS 12604-87 (STAS 12604/2-87 şi STAS 12604/3-87) rezultă că se realizează protecţia necesară împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă, dacă cu ajutorul instalaţiei de protecţie se obţin valori sub limita admisă pentru următoarele tensiuni accidentale:

- tensiunile de atingere şi de pas în zonele de influenţe ale instalaţiilor de legare la pământ prin care trec curenţii de defect; prin zona de influenţă a unei instalaţii de legare la pământ se înţelege suprafaţa terenului ocupat de electrozii prizelor aferente, plus vecinătăţile în care potenţialele la suprafaţa solului sunt diferite de “zero”; se numeşte zonă de potenţial nul zona în care potenţialele la suprafaţa solului sunt “practic zero”, respectiv neglijabile faţă de tensiunea totală $U_p$ (faţă de un punct de referinţă aflat în zona de potenţial) a instalaţiei de legare la pământ (a se vedea şi pct.1.3.28);
- tensiunile transmise prin instalaţii cu diferite destinaţii cum sunt conducte cu fluide (apă, gaze, termoficare, combustibili lichizi etc.), căile de rulare, conductoare ale liniei de racord scurtcircuitate şi legate la pământ, la capete etc., care ies din zona de influenţă a instalaţiei de legare la pământ şi care ajung în zone de potenţial nul sau în zone de influenţă a altor prize de pământ, unde pot fi atinse de persoane; trebuie avute în vedere şi tensiunile de atingere la consumatorii casnici sau industriali din localităţile alimentate din posturile de transformare racordate la staţiile de 110 kV/MT prin cabluri subterane, considerând un defect în staţia de înaltă tensiune iar conductoarele cablului de racord scos de sub tensiune, scurtcircuitate şi legat la pământ la mabele capete (la priza staţiei şi la priza postului de transformare la care este legat şi nulul reţelei de joasă tensiune care alimentează cu energie electrică consumatorii);
- tensiuni prin cuplaj rezistiv $U_R$ în reţelele de comandă-control şi de telecomunicaţii aflate în contact cu elemente ale instalaţiei de legare la pământ sau cu elemente racordate la aceasta sau care străbat zone de influenţă ale instalaţiei de legare la pământ.

2.1.2. Valorile maxime admise ale tensiunilor de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$ sunt cele din STAS 2612-1987 (12604/2-87), în funcţie de:

- zona de amplasare a instalaţiei sau echipamentului electric (cu sau fără circulaţie frecventă de persoane);
- categoria (tipul) reţelei sau instalaţiei electrice (joasă tensiune sau înaltă tensiune, respectiv izolată faţă de pământ, simbol I, sau legată la pământ, simbol T);
- numărul sistemelor distincte de protecţie prevăzute;
- timpul de eliminare a defectului prin protecţia de bază.

2.1.3. Valorile maxime admise ale tensiunii prin cuplaj rezistiv $U_R$ sunt cele din STAS 832, în funcţie de timpul de eliminare a defectului prin protecţia de bază.

2.1.4. Atât în reţelele de joasă tensiune cât şi în cele de înaltă tensiune trebuie să se prevadă cel puţin un sistem distinct de eliminarea defectului.

Prin sistem distinct de eliminare a defectului se înţelege sistemul destinat declanşării în cazul unui defect şi cuprinde dispozitive de protecţie (relee, siguranţe etc.) şi de întrerupere (întreruptoare, siguranţe etc.). Două sau mai multe dispozitive de protecţie asociate aceluiaşi întreruptor constituie un sistem distinct de eliminare a defectului.

2.1.5. În cazul folosirii în comun a instalaţiilor de legare la pământ pentru instalaţiile de înaltă tensiune (î.t.) şi de joasă tensiune (j.t.), dimensionarea trebuie să aibă în vedere atât defectele posibile pe partea de joasă tensiune, când pentru toate echipamentele (de j.t. şi î.t.) se vor respecta valorile maxime admise pentru instalaţiile de j.t., cât şi defectele posibile pe partea de î.t., când pentru toate echipamentele (de j.t, şi de î.t.) se vor respecta valorile maxime admise pentru instalaţiile de î.t.

2.1.6. În conformitate cu STAS 2612-1987 (12604/2-87) tensiunile de atingere şi de pas la instalaţiile de î.t. pentru timpii de eliminare a defectului prin protecţia de bază $t_b \leq 0,4$ s sunt stabilite considerând curentul maxim admis prin corpul omului $I_h$ în funcţie de timpul de

declanşare în caz de defect, dacă rețeaua este legată la pământ prin rezistor şi sunt prevăzute două sisteme distincte de eliminare a defectului (schema $T_2T$).

2.1.7. La determinarea tensiunii de atingere şi de pas într-o anumită situație dată se va considera timpul de deconectare (de eliminare a defectului) prin protecția de bază cea mai rapidă prevăzută (prima treaptă a protecției de bază $t_b$).

**2.2. Curenții de calcul prin corpul omului $I_h$**

2.2.1. În tabelul 2.1 se dau limitele maxime ale curenților prin corpul omului, considerate în calcule pentru concepția şi stabilirea sistemelor de protecție împotriva electrocutărilor şi care pot fi folosite la dimensionarea instalațiilor de legare la pământ pentru timpii de întrerupere la protecția de bază $t_b \leq 0,4$ s.

Tabelul 2.1

Limitele maxime admise de calcul ale curentilor prin corpul omului $I_h$ (mA) pentru $t_b \leq 0,4$ s

| Nr. crt. | Felul curentului | Nr. sistemelor de eliminare a defectului | Timpul de întrerupere la protecția $t_b$, în s | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| 1. | c.a. | 1.1 - un sistem<br>1.2 - două sisteme | 115<br>465 | 60<br>385 | 50<br>265 | 35<br>200 |
| 2. | c.c. | 2.1 - un sistem<br>2.2 - două sisteme | -<br>480 | 115<br>440 | 90<br>400 | 80<br>350 |

Pct.1.2 şi 2.2 din tabelul 2.1 de mai sus se referă exclusiv la cazul rețelelor de înaltă tensiune (6 ... 20 kV) legate la pământ prin rezistențe ohmice, care sunt prevâzute cu două sisteme distincte de declanşare în cazul unui defect cu punere la pământ; aceste valori stau la baza determinării tensiunilor de atingere şi de pas pentru stâlpii fără aparataj din localități şi din incintele cu circulație redusă unde se folosesc şi mijloace individuale de protecție izolante (a se vedea tabelul 2.3 de mai jos).

2.2.2. În cazul protecției împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă, limita de calcul maximă admisă a impedanței totale a corpului omului $Z_h$ (se poate considera egală cu rezistența ohmică a corpului $R_h$) unde $Z_h \cong R_h = 3000\ \Omega$.

2.2.3. În retelele de 6 ... 20 kV legate la pământ prin rezistență simbol $T_2T$ şi care sunt prevăzute cu două sisteme distincte de declanşare (în care se pot considera valorile din tabelul 2.1 de mai sus), trebuie să fie îndeplinite următoarele condiții:

a) pe fiecare circuit de alimentare să existe câte o protecție homopolară de curent PHCL; în cazul LEA se va prevedea şi o protecție împotriva punerilor la pământ rezistive PPRL;

b) pe legătura la pământ a neutrului rețelei să existe o protecție homopolară de curent PHCN; în cazul rețelelor cu LEA sau mixte se va prevedea suplimentar şi o protecție împotriva punerilor la pământ rezistive PPRN;

c) fiecare din cele două protecții de la pct. "a" şi "b" să acționeze separat asupra a două întreruptoare diferite de pe circuitul curentului de punere la pământ, cum sunt: întreruptorul de pe linia cu defect şi întreruptorul de pe transformatorul de 110/20 kV din stația de alimentare;

d) pe barele stației să existe o protecție homopolară de tensiune care să declanşeze întreruptorul de pe transformatorul de 110/20 kV la prima punere la pământ, în cazul în care se întrerupe circuitul de legare la pământ a neutrului rețelei;

e) timpii de deconectare la protecțiile de bază trebuie să fie, de regulă, $t_b \leq 0,4$ s şi, în cazuri justificate, de maximum 1,2 s; în cazul în care acest timp este mai mare decât 1,2 s, valorile tensiunilor de atingere şi de pas sunt cele referitoare la rețelele obişnuite (cazul când se prevede un singur sistem de protecție);

f) în nici o situație normală sau de avarie şi indiferent de durată, curentul de scurtcircuit monofazat nu trebuie să depăşească valoarea de calcul.

2.2.4. În cazul dimensionării instalației de legare la pământ, considerând curenții prin corpul omului conform tabelului 2.1, trebuie să fie îndeplinite următoarele condiții:

- rețeaua să fie legată la pământ (schemele $T_1T$ sau $T_2T$); rețelele legate la pământ cu tensiuni nominale de lucru de 110 kV şi mai mari se încadrează totdeauna în schema $T_1T$;

- tensiunea la care este supus omul, $U_h$ de calcul, trebuie să fie cel mult egală cu valoarea maximă admisă a tensiunii de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$, stabilită de STAS 2616-87 pentru situaţia respectivă:

$$U_h = R_h \cdot I_h \leq U_a \quad \text{şi} \quad R_h \cdot I_h \leq U_{pas}$$

(a se vedea şi tabelul 2.3 de mai jos pentru timpii de calcul $t_b \leq 0,4$ s).

În cazul reţelelor cu două sisteme independente de eliminare a unui defect, curenţii maximi admişi prin corpul omului sunt mult mai mari decât în cazul reţelelor cu un singur sistem de eliminare a defectului. De exemplu, la un timp de întrerupere de 0,2 s, valoarea uzuală la protecţiile homopolare de curent, curentul maxim admis la o reţea cu două sisteme independente de eliminare a defectului este $I_h$ = 367 mA, pe când la reţelele cu un singur sistem de eliminarea a defectului este $I_h$ = 60 mA (de 6 ori mai mic). De aici reies avantajele deosebite ale reţelelor din prima categorie menţionată mai sus. În primul rând, condiţiile de dimensionare a prizelor de pământ vor fi mult mai uşoare, conducând la instalaţii mai simple, cu investiţii şi volume de lucru şi de materiale mult mai reduse.

### 2.3. Tensiuni de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$ (conform STAS 2612-1987)

2.3.1. Valorile maxime admise pentru tensiunile de atingere şi de pas sunt cele indicate:

- din tabelul 2.2 pentru echipamentele (instalaţiile) electrice de joasă tensiune în cazul unui defect în instalaţia de joasă tensiune în funcţie de categoria reţelei de alimentare, de zona de amplasare a echipamentului şi de timpul de întrerupere în caz de defect;
- din tabelul 2.3 pentru echipamentele (instalaţiile) electrice de înaltă tensiune în cazul unui defect în instalaţia de înaltă tensiune în funcţie de tipul echipamentului (instalaţiei electrice), de zona de amplasare, de tipul reţelei şi de timpul de întrerupere în caz de defect;
- în cazul folosirii în comun a instalaţiilor de protecţie (ca, de exemplu, cea de legare la pământ) pentru instalaţii sau echipamente electrice de înaltă şi joasă tensiune, tensiunile de atingere şi de pas maxime admise pentru ambele categorii, sunt cele din tabelul 2.2, când se consideră defectul pe partea de joasă tensiune şi cele din tabelul 2.3, când se consideră defectul pe partea de înaltă tensiune.

Tabelul 2.2

Tensiuni de atingere şi tensiuni de pas (în V) maxime admise în cazul unui defect la instalaţiile electrice de joasă tensiune.

| Nr. crt. | Categoria reţelei | Zona de amplasare a instalaţiei electrice | Tensiunea maximă admisă $U_a$ şi $U_{pas}$ pentru $t_b \leq 3$ s |
|---|---|---|---|
| 1. | de curent alternativ | a) la suprafaţă | 50* |
| | | b) în subteran la exploatări miniere | 25* |
| 2. | de curent continuu | a) la suprafaţă | 120 |
| | | b) în subteran la exploatări miniere | 25 |

* în concordanţa cu prevederile normativului I-7-2002 aliniat la prevederile SR EN 60364-4

| Nr. crt. | Tipul echipamentului -instalației electrice | Zone de amplasare | Tipul rețelei | Tensiunea maximă admisă de atingere şi de pas pentru timpul de întrerupere la protecția de bază de: | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 0,2 s | 0,3 s | 0,4 s | 0,5 s | 0,6 s | 0,7 s | 0,8-1,2 s | 1,2- 3 s | > 3 s |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. |
| 1. | Echipamentul electric (exclusiv stâlpii LEA) | a) circulație frecventă | I, $T_1$<br>$T_2$ | 125<br>250 | 100<br>200 | 85<br>165 | 80<br>150 | 75<br>140 | 70<br>130 | 65<br>125 | 65<br>65 | 50<br>50 |
| | | b) circulație redusă, fără mijloace ind. de protecție izolante | I, $T_1$<br>$T_2$ | 250<br>500 | 200<br>400 | 165<br>330 | 150<br>300 | 140<br>280 | 130<br>260 | 125<br>250 | 125<br>125 | 125<br>125 |
| | | c) circulație redusă cu folosirea mijloacelor individuale de protecție izolante | I, $T_1$<br>$T_2$ | 500<br>1100 | 400<br>795 | 330<br>600 | 300<br>500 | 280<br>500 | 260<br>500 | 250<br>500 | 250<br>250 | 250<br>250 |
| 2. | Stâlpii LEA fără aparataj | a) circulație frecventă din localități | I<br>$T_1$<br>$T_2$ | 125<br>250<br>1100 | 125<br>250<br>795 | 125<br>250<br>600 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>250 | 125<br>250<br>250 |
| | | b) circulație frecventă din afara localităților | I, $T_1$, $T_2$ | nu se standardizează | | | | | | | | |
| | | c) circulație redusă | I, $T_1$, $T_2$ | nu se standardizează | | | | | | | | |
| | | d) incinte industriale şi agricole, plaje şi terenuri camping | I, $T_1$<br>$T_2$ | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>125 | 125<br>125 |
| 3. | Stâlpii LEA cu aparataj | a) în general indiferent de zonă | I<br>$T_1$<br>$T_2$ | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>500 | 125<br>250<br>250 | 125<br>250<br>250 |
| | | b) incinte industriale şi agricole, plaje şi terenuri camping | I<br>$T_1$,$T_2$ | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>250 | 125<br>125 | 125<br>125 |

**OBSERVAȚIE:**

În tabelul 2.3, notațiile din coloana 4, au următoarele semnificații:

I - conform pct. 3.2.

$T_1$ - rețea legată la pământ cu un sistem de eliminare a defectului

$T_2$ - rețea legată la pământ cu două sisteme de eliminare a defectului şi care îndeplineşte condițiile de la pct. 2.2.3.

# 3. REȚELE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

## 3.1 Rețele legate la pământ

### 3.1.1. Condiția generală privind alegerea sistemului de protecție.

3.1.1.1. În cazul rețelelor legate la pământ (simbol T), în conformitate cu STAS 12604-1987 (12604/3-87) pct.3.1.9.2, de regulă se aplică protecția prin legare la nul (simbol N), rezultând schema TN. Se admite numai pe baza unei justificări tehnico-economice aplicarea protecției prin legare la pământ (simbol T) şi anume schema TT.

### 3.1.2. Protecția prin legare la pământ schema TT

3.1.2.1. În rețelele legate la pământ de joasă tensiune, legarea la pământ de protecție poate fi folosită ca măsură principală împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă (schema TT) dacă se poate obține cu mijloace justificate tehnic şi economic o rezistență de dispersie a instalației de legare la pământ,

$$R_p \leq \frac{U_a}{I_p}$$

unde:

$U_a$ este tensiunea de atingere maxim admisă, conform subcapitolului 2.3 (respectiv, tabelul 2.2) din prezentul îndreptar, în V;

$I_p$ este curentul de punere la pământ (curentul prin priza de pământ) în A, determinat conform pct.3.1.2.2 de mai jos, în funcție de protecția maximală din circuitul respectiv.

3.1.2.2. Curentul de punere la pământ $I_p$ considerat în calculul rezistenței de dispersie maxim admise $R_p$ se determină astfel:

a) În cazul protejării circuitelor cu relee de protecție maximală (întreruptoare automate):

$$I_p = 1{,}25\ I_{rm}$$

în care:

$I_{rm}$ este curentul de reglaj al protecției împotriva punerilor la pământ; în cazul protecției PACD cu DDR se consideră $I_p = I_{\Delta n}$ (a se vedea pct.1.3.97);

b) În cazul protejării circuitelor numai prin siguranțe fuzibile:

$$I_p = k \cdot I_{ns}$$

în care:

$I_{ns}$ este curentul nominal al fuzibilului, iar

$k = 3{,}5$ pentru $I_{ns} \leq 50$ A şi $k = 5$ pentru $I_{ns} \geq 63$ A

Se vor considera $I_{rm}$ sau $I_{ns}$ corespunzător aparatajului care protejează echipamentul de puterea cea mai mare, racordat la instalația de legare la pământ.

***3.1.2.3. Indiferent de rezultatul calcului, rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ va fi mai mică sau cel mult egală cu 4 Ω.***

Exemplu: La o instalație de legare lapământ având rezistența de dispersie de 4 Ω fără realizarea protecției prin legare la nul, se pot racorda echipamente ale căror întreruptoare automate au relee maximale reglate la un curent mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{rm} = \frac{50}{1{,}25 \times 4}; \quad I_{rm} = 10\ A$$

sau ale căror siguranțe fuzibile au un curent nominal mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{ns} = \frac{50}{3{,}5 \times 4}; \quad I_{ns} = 3{,}5A$$

3.1.2.4. În cazul în care este rațională realizarea unei protecții prin legare la pământ în loc de o protecție prin legare la nul, respectiv este mai economică realizarea unei instalații de legare la pământ care să aibă o rezistență de dispersie maximă calculată conform pct.3.1.2.1, se va realiza

protecția prin legare la pământ, respectându-se prevederile standardelor STAS 12604/4-89 şi STAS 12604/5-90.

În cazuri speciale când nu se asigură declanşarea în caz de defect într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 s, se va aplica protecția PACD pentru deconectarea automată la curenți de defect; în asemenea cazuri se vor aplica prevederile standardului STAS 12604-1987 şi a normativului I-7-2002.

***Este interzisă realizarea protecției prin legarea la pământ, folosind o priză locală separată neracordată la conductorul de nul, dacă în alte sectoare ale aceleaşi rețele electrice de joasă tensiune (se înțelege rețeaua alimentată de la acelaşi transformator) se foloseşte protecția prin legare la nul (schema TN). Fac excepție stâlpii LEA care se leagă numai la o priză de pământ separată, conform cu prevederile pct. 3.1.3.1 şi 3.1.3.4.***

3.1.2.5. În cazul în care se poate aplica numai legarea la pământ a echipamentelor (dacă se poate obține rezistența de dispersie necesară conform pct. 3.1.2.1) se vor folosi prizele de pământ naturale şi se va folosi în comun instalația de legare la pământ şi pentru echipamentele de înaltă tensiune, dimensionată în acest scop.

Exemplu: La o instalație de legare la pământ folosită în comun, având rezistența de dispersie de 0,2 Ω, se pot racorda echipamente de joasă tensiune ale căror întreruptoare automate au relee maximale reglate la un curent mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{rm} = \frac{50}{1{,}25 \times 0{,}2}; \quad I_{rm} = 200\ \text{A}$$

sau ale căror siguranțe fuzibile au un curent nominal mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{ns} = \frac{50}{5 \times 0{,}2}; \quad I_{ns} = 50\ \text{A}$$

3.1.2.6. Folosirea prizelor de pământ artificiale se admite numai pentru completarea prizelor de pământ naturale pe baza unor justificări în notele de calcul ale lucrării.

### 3.1.3. Instalații de legare la pământ pentru protecția prin legare la nul din rețeaua de joasă tensiune (schema TN)

#### 3.1.3.1. Reguli generale

Pentru o instalație electrică de joasă tensiune se va realiza, de regulă, protecția prin legare la nul, respectându-se prevederile standardelor 12604/4-89 şi 12604/5-90.

În cazul în care la unul sau mai multe sectoare ale rețelei de joasă tensiune se aplică protecția prin legare la nul, se admite legarea la pământ a unor echipamente numai dacă racordările acestora se fac la o instalație de legare la pământ care are legături electrice directe cu rețeaua de nul şi prezintă o rezistență de dispersie $R_p$ cel mult egală cu valoarea rezultată din condiția de la pct.3.1.2.1.

Se admite legarea numai la pământ a echipamentelor de putere mică (echipamente de automatizare, telecomandă, telecomunicații etc.) atunci când se respectă condiția de la pct.3.1.2.1, fără adăugarea de prize de pământ suplimentare, precum şi primul alineat din acest punct.

În cazul în care se aplică numai legarea la pământ (considerată ca măsură pricipală împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă), instalația respectivă de protecție se va dimensiona şi executa în conformitate cu prevederile STAS 12604/4-89 şi 12604/5-90.

**În cazul stâlpilor metalici sau de beton armat se admite ca în locul protecției prin legare la nul să se aplice legarea la pământ, completată cu dirijarea distribuției potențialelor, astfel încât $U_a$ şi $U_{pas}$ să nu depăşească valorile prevăzute în subcap.2.3. În această situație nu se prescrie valoarea rezistenței de dispersie a instalației de legare la pământ respective.**

Dacă prin dirijarea distribuției potențialelor nu se poate respecta justificat limita de 50 V, pentru $U_a$ se admite completarea cu izolarea amplasamentului, considerându-se în calcule coeficientul respectiv de amplasament $\alpha$.

În cazul rețelelor electrice cu conductoare izolate torsadate se admite ca pentru protecția împotriva atingerilor indirecte la stâlpul respectiv să se aplice o izolare de protecție (conform definiției de la pct.1) a conductoarelor față de stâlp în loc de legare la nul (a se vedea STAS 12604/5-90).

Când se aplică protecția de legare la nul, se vor realiza totdeauna legături suplimentare la pământ în conformitate cu prevederile standardului STAS 12604/5-90.

Conform acestui standard se vor realiza legăturile la pământ la bornele şi barele de nul ale tuturor tablourilor de distribuție şi pe traseele conductoarelor de nul ale rețelelor aeriene, precum şi la echipamentele electrice de la consumatori, respectându-se condițiile de la pct.3.1.1.9 din STAS 12604/5-90.

La o instalație de legare la pământ se pot racorda mai multe sau chiar toate tablourile de distribuție, precum şi mai multe sau toate echipamentele electrice; a se vedea STAS 12604/5-90.

Valorile maxime ale rezistențelor de dispersie ale instalațiilor de legare la pământ se vor stabili în conformitate cu pct.3.1.3.2 … 3.1.3.5 de mai sus, iar dimensionarea şi executarea instalațiilor respective de legare la pământ se vor realiza respectându-se condițiile standardului 12604/5-90, pct.3.1.1.10 ... 3.1.1.12.

Corpurile de iluminat, utilajele mobile de pe şantier şi instalațiile de ridicat cu cale de rulare, prezentând aspecte particulare, legăturile de protecție ale acestora se vor realiza cu respectarea condițiilor specifice din standardul STAS 12604/5-90. În fig.9 se prezintă modul de legare a corpurilor de iluminat.

Față de prevederile din STAS 12604/4-89 şi STAS 12604/5-90 se vor avea în vedere şi precizările din prezentul îndreptar privind obiectivele energetice.

### 3.1.3.2. Centrale, stații şi posturi de transformare

În apropierea sursei de alimentare (transformator sau generator) va fi prevăzută o legare la pământ a nulului, folosindu-se o instalație de legare la pământ locală cu o rezistență de dispersie de cel mult 10 Ω, cu respectarea concomitentă a condiției ca rezistența de dispersie rezultantă a sistemului constituit din rețeaua de nul şi prizele de pământ legate cu aceasta să fie sub 4Ω.

În cazul mai multor plecări este suficientă o singură instalație de legare la pământ, urmând ca în exploatare să se mențină în permanență în bună stare legăturile tuturor nulurilor de pe plecările de joasă tensiune la această instalație de legare la pământ.

La centralele, stațiile şi posturile de transformare unde partea de joasă tensiune este utilizată numai pentru alimentarea unor consumatori din incinta comună a acestora, se va folosi întotdeauna în comun instalația de legare la pământ (atât pentru partea de înaltă tensiune cât şi pentru partea de joasă tensiune).

La această instalație de legare la pământ se vor racorda: punctul neutru al transformatorului, bornele sau barele de nul ale tablourilor şi echipamentele, care conform STAS 12604/5-90 trebuie legate şi la pământ.

***Instalația de legare la pământ folosită în comun pentru partea de î.t şi pentru partea de j.t va fi astfel dimensionată, încât să satisfacă condițiile pentru partea de î.t, însă rezistența de dispersie rezultantă va fi în toate cazurile mai mică sau cel mult egală cu 4 Ω, respectiv cu 1 Ω pentru cazul în care la priza de pământ folosită în comun se racordează şi instalația de protecție împotriva descărcărilor atmosferice (inclusiv DC sau DRV) de pe partea de î.t.***

În cazul centralelor, stațiilor şi posturilor de transformare a căror parte de joasă tensiune alimentează şi consumatorii din afara incintei acestora, în vederea evitării transmiterii la consumatori (prin intermediul conductoarelor de nul) a unor tensiuni mai mari decât cele din tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație frecventă în cazul unui defect pe partea de înaltă tensiune, se vor respecta condițiile din STAS 12604/5-90 (anexa A), şi anume:

a) Se va realiza totdeauna o instalație generală de legare la pământ, folosită în comun pentru partea de înaltă tensiune şi pentru partea de joasă tensiune, atât în incintele şi platformele industriale în care, conform prevederilor STAS 12604/5-90, este necesar să se realizeze o rețea generală de legare la pământ de protecție pentru toate categoriile de instalații şi echipamente

electrice, cât şi în rețelele din afara incintelor şi platformelor industriale (posturi de transformare, puncte de alimentare etc.).

b) Instalația generală de legare la pământ trebuie să fie astfel realizată încât să se respecte tensiunile de atingere şi de pas maxime admise, atât la partea de înaltă tensiune cât şi la carcasele şi elementele de susținere ale instalațiilor şi echipamentelor electrice de joasă tensiune.

c) Totdeauna când se folosesc în comun instalațiile de legare la pământ trebuie să se aibă în vedere ca tensiunile de atingere şi de pas la instalațiile şi echipamentele de joasă tensiune legate la conductorul de nul de protecție să nu depăşească valorile maxime admise conform STAS 2612-1987, respectiv din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă, în caz de defect pe partea de înaltă tensiune, precum şi valorile din tabelul 2.2 din prezentul îndreptar, pentru cazul unui defect pe partea de joasă tensiune.

d) În cazul rețelelor de înaltă tensiune legate la pământ printr-o rezistență ohmică, timpul protecției de bază (şi anume timpul de întrerupere prin cea mai rapidă protecție prevăzută să acționeze la defectul respectiv) trebuie să fie de cel mult 1,2 s (a se vedea pct.2.2.3 din prezentul îndreptar).

În cazuri speciale, când se justifică tehnic şi economic, se admite să se realizeze instalații de legare la pământ separate, şi anume, instalația de legare la pământ pentru partea de joasă tensiune să se separe de instalația de legare la pământ, pentru partea de înaltă tensiune; de exemplu, în cazul posturilor şi rețelelor aeriene de înaltă tensiune (pe stâlpi LEA), la care realizarea unei instalații comune - astfel încât să se respecte limitele maxime admise ale tensiunilor de atingere şi de pas - ar conduce la investiții mai mari, nejustificate.

În cadrul aceleiaşi rețele de înaltă tensiune, se admite ca, pentru o parte a rețelei să se realizeze instalații de legare la pământ comune, iar pentru altă parte, instalații de legare la pământ separate.

e) În cazul în care se realizează instalații de legare la pământ separate pentru partea de înaltă tensiune, şi pentru partea de joasă tensiune, trebuie îndeplinite următoarele condiții (în conformitate cu STAS 12604/5-90 Anexa A):

- distanța dintre cele două instalații de legare la pământ trebuie să fie aleasă astfel încât, în orice situație să nu rezulte în rețeaua conductoarelor de nul de protecție o tensiune de atingere şi de pas mai mare decât valorile maxime admise. În toate cazurile, distanța dintre instalațiile de legare la pământ trebuie să nu fie mai mică de 20 m, pe această distanță trebuie să nu existe elemente conductoare cum sunt cabluri, conducte metalice etc, care să facă ineficientă distanțarea. În cazuri speciale, impuse de condiții specifice, se admite reducerea distanței de separare pe baza unei justificări privind respectarea tensiunilor de atingere şi de pas maxim admise;

- distanța dintre obiectele metalice situate deasupra solului şi aflate în contact cu instalațiile de legare la pământ separate (conductoare principale sau de ramnificație, carcase, îngrădiri etc.), trebuie să fie de cel puțin 0,1 m; dacă nu se poate respecta distanța de 0,1 m trebuie să se ia măsuri de izolare;

- dacă linia aeriană de joasă tensiune se racordează prin cabluri la barele colectoare ale stației sau postului de transformare respectiv, trebuie avut în vedere ca armătura metalică a cablului să nu facă ineficientă separarea intenționată a instalațiilor de legare la pământ; legarea la pământ a punctului neutru nu se face în stație, respectiv la postul de transformare, ci la primul stâlp al liniei aeriene;

- dacă obiectele metalice de pe partea de joasă tensiune care trebuie protejate nu se pot separa de instalația de legare la pământ de protecție de pe partea de înaltă tensiune, ele se leagă la această instalație (de exemplu, cutia de distribuție de joasă tensiune montată pe stâlpul cu transformator); în aceste cazuri trebuie să se asigure atât la stâlpul cu transformator cât şi la stâlpul la care se leagă nulul de la priza de pământ de exploatare, tensiuni de atingere şi de pas sub limitele admise, eventual prin dirijarea distribuției potențialelor şi/sau izolarea amplasamentului;

- dacă unele obiecte metalice care trebuie protejate se pot separa, iar altele nu, primele se leagă la conductorul de nul, iar celelalte se leagă la instalația de protecție de pe partea de înaltă tensiune; în acest caz este necesar să se ia măsuri ca cele două categorii de obiecte metalice să fie separate între ele, conform prevederilor de la subpunctul “b”.

f) În toate cazurile în care se foloseşte în comun o instalație de legare la pământ, atât pentru partea de înaltă tensiune, cât şi pentru partea de joasă tensiune, rezistența de dispersie ($R_{pn}$) a

instalației comune se determină pentru cazul defectelor pe partea de înaltă tensiune, cu următoarea relație: $R_{pn} \le \frac{U_a}{I_p r_e r_k}$

în care:

$U_a$ este valoarea maximă admisă a tensiunii de atingere şi de pas conform STAS 2612-1987, respectiv tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, (în volți);

$I_p$ - intensitatea curentului de punere la pământ prin priza de pământ respectivă, stabilită conform STAS 12604/4-89 şi îndreptarul 1.RE-$I_p$ 35/2-92 privind rețelele de medie tensiune cu neutrul tratat prin rezistență (schema $T_2T$ pentru cazul în care defectul este pe partea de înaltă tensiune (în A); a se vedea şi STAS 12604/4-89 (cap.8 şi Anexa 1);

$r_k$ - factorul de aşteptare care are următoarele valori:

$r_k$ = 0,85 în cazul rețelelor de joasă tensiune cu cabluri subterane;

$r_k$ = 1,00 în cazul rețelelor de joasă tensiune pe stâlpi LEA;

$r_e$ - coeficientul de echipotențiere, în zonele de influență ale prizelor de pământ legate la rețeaua conductorului de nul de pe partea de joasă tensiune.

Coeficientul de echipotențiere se determină prin măsurări pentru fiecare caz în parte. În cazul când nu se dispune de astfel de determinări, se vor considera următoarele valori:

$r_e$ = 0,8, dacă rețeaua conductoarelor de nul de pe partea de joasă tensiune este buclată;

$r_e$ = 1,0, dacă rețeaua conductoarelor de nul de pe partea de joasă tensiune este ramificată.

Indiferent de rezultatul calculului, valoarea rezistenței de dispersie rezultante a instalației (rețelei) generale de legare la pământ trebuie să fie de cel mult 4 Ω.

Pentru verificarea la stabilitate termică se consideră, de asemenea, cazul defectelor pe partea de înaltă tensiune, respectându-se prevederile din STAS 12604/4-89 cap.7.

### 3.1.3.3. Instalații la consumatori

La consumatori, echipamentele electrice care trebuie legate suplimentar la pământ, conform standardului STAS 12604/5-90 pct.3.1.1.13, se vor racorda, de regulă, la aceeaşi instalație de legare la pământ la care se racordează şi barele şi bornele de nul ale tablourilor de distribuție.

Se admit racordări la instalații de legare la pământ separate, numai dacă legăturile la instalația comună ar conduce la costuri mai mari.

Dacă în incinta unității respective există şi instalații electrice de înaltă tensiune se va folosi în comun instalația de legare la pământ. Aceasta se va dimensiona şi executa şi în conformitate cu condițiile impuse pentru partea de înaltă tensiune; conductoarele de ramificație de pe partea de joasă tensiune vor corespunde condițiilor din STAS 12604/5-90 art.3.2.2.

**Indiferent de valoarea rezultată din calcule pentru dimensionarea instalației comune de legare la pământ, rezistența de dispersie a acesteia nu va depăşi valoarea de 4 Ω iar tensiunile de atingere şi de pas nu vor depăşi valorile din STAS 2612-1987, respectiv din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă în cazul unui defect pe partea de înaltă tensiune, considerându-se totdeauna $k_a = k_{pas} = 1$ (a se vedea şi pct.4.1.4 din prezentul îndreptar).**

Dacă o instalație de legare la pământ deserveşte numai partea de joasă tensiune, ea va fi dimensionată şi executată respectându-se prevederile din STAS 12604/5-90 pentru conductoarele de legare la pământ, pentru executarea legăturilor şi pentru prizele de pământ (STAS 12604/5 art. 3.2.2).

Dacă legarea la nulul de protecție se realizează cu conductoare neizolate montate aparent, rețeaua conductoarelor principale de protecție este folosită în comun şi pentru legarea la pământ, atât pentru echipamentele electrice de î.t. cât şi pentru echipamentele electrice de j.t.

Sistemul de protecție prin legarea la nul cu conductoare neizolate montate aparent se va dimensiona conform prescripțiilor generale cu precizările de mai jos specifice realizării legării la nul cu conductoare neizolate aparente. A se vedea prevederile din standardul STAS 12604/5-90 privind protecția prin legare la nul cu conductoare neizolate (montate aparent).

În cazul în care legarea la nulul de protecție se realizează cu conductoare PE neizolate (montate aparent), rețeaua acestora este separată de rețeaua conductoarelor de nul de lucru N şi este folosită atât pentru legarea la nul cât şi pentru legarea la pământ.

Rețeaua conductoarelor de nul PE cu conductoare neizolate montate aparent poate fi folosită în comun şi drept rețea de legare la pământ şi pentru instalațiile de înaltă tensiune dacă este dimensionată corespunzător, conform prevederilor din prezentul îndreptar.

În cazul rețelei de nul de protecție cu conductoare neizolate, se pot folosi cabluri (conducte) fără conductor de nul de protecție PE. Dacă cablurile (conductele) sunt fără conductoare de nul N sau PEN, receptoarele monofazate se vor alimenta din transformatoarele special racordate la rețeaua de j.t. trifazată; este interzisă racordarea pentru alimentare cu energie electrică folosind conductoarele de protecție PE drept conductoare active.

În cazul în care pentru alimentarea receptoarelor monofazate se folosesc transformatoare speciale destinate acestui scop alimentate din rețeaua trifazată de joasă tensiune pentru receptoarele monofazate se va aplica, de regulă, protecția, prin legarea la nul schema TN (fac excepție transformatoarele de separare).

La stabilirea soluției de realizare a rețelei de nul de protecție neizolate (aparente) trebuie să existe la bază o justificare tehnico-economică în funcție de condițiile specifice, şi anume: costul transformatoarelor pentru echipamentele monofazate, economiile realizate prin folosirea cablurilor fără conductoare de nul, realizarea rețelei conductoarelor de nul de protecție PE numai cu conductoare neizolate (montate aparent), determinate de puterile electrice ale echipamentelor electrice, respectiv secțiunile conductoarelor active în raport cu care se determină secțiunile conductoarelor de nul de protecție PE etc.

Secțiunea conductoarelor PE dintre sursele de alimentare (transformator sau generator) şi elementul care trebuie racordat la conductorul de protecție (carcasă, element de susținere) şi care poate intra accidental sub tensiune, trebuie să fie astfel stabilită încât să se asigure condiția de întrerupere a circuitului defect, conform STAS 12604/4-89 pct. 6.2.2, astfel:

$I_{def} \geq K \cdot I_{ns}$ sau $I_{def} \geq 1,25\ I_r$

unde: $I_{def}$ este curentul de defect;

$I_{ns}$ - curentul nominal al siguranței fuzibile;

$I_r$ - curentul de reglaj al dispozitivului de protecție pentru decontarea la scurtcircuit a întreruptorului echipamentului electric protejat;

K - coeficient care se stabileşte în funcție de tipul siguranței fuzibile, corespunzător unui timp de deconectare de 3 s; pentru cazul în care furnizorul siguranței nu indică valoarea K, pentru t = 3s, se adoptă valorile indicate în STAS 12604/4-89 pct. 6.2.2.

Indiferent de rezultatul calculului, secțiunea conductorului de protecție nu trebuie să fie mai mare decât valoarea din tabelul 3.1 de mai jos în funcție de materialul conductorului şi destinația acestuia şi nu va fi mai mică decât secțiunea minimă indicată mai jos în tabelul 3.2.

Tabelul 3.1

Secțiunea maximă pentru conductoarele de nul de protecție PE neizolate (montate aparent)

| Destinația Conductorului | Secțiunea maximă în mm$^2$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | oțel rotund sau profiluri din oțel cu g ≥ 3 mm | cablu din oțel | oțel - aluminiu sau aliaje din | |
| | | | aluminiu | cupru |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Conductor de protecție principal | 400 | 400 | 240 | 185 |
| Conductor de protecție de ramificație | 2 × 240 | 2 × 240 | 2 × 185 | 2 × 150 |

Secțiunea minimă din punct de vedere electric a conductorului de protecție principal trebuie să fie 1/3 din secțiunea echivalentă a conductoarelor de fază folosite în schema TN respectivă, iar a conductorului de ramificație trebuie să fie 1/2 din secțiunea echivalentă a conductorului de fază prin care se alimentează echipamentul respectiv, dau nu mai mică decât secțiunea minimă din punct de vedere al rezistenței la solicitări mecanice.

Secțiunea minimă din punct de vedere al solicitărilor mecanice este cea din tabelul 3.2 de mai jos, în funcție de materialul conductorului şi destinația acestuia.

Tabelul 3.2

Secțiunea minimă admisă din punct de vedere al solicitărilor mecanice conductoarele de nul de protecție “PE” neizolate (montate aparent)

| Destinația conductorului de nul PE | Secțiunea minimă admisă, în mm² | | | |
|---|---|---|---|---|
| | oțel rotund sau profiluri din oțel cu grosimea minimă de 3 mm | cablu din oțel | oțel aluminiu sau aliaje din aluminiu | cupru |
| Conductor de protecție principal | 100 | 95 | 35 | 16 |
| Conductor de protecție de ramificație | 50 | 50 | 25 | 10 |

Conductorul de protecție principal PE neizolat (montat aparent) va constitui, de regulă, un circuit închis:

Conductorul de nul de protecție principal PE se va monta în toate încăperile şi spațiile în care există echipamente care trebuie racordate la nulul de protecție. Conductorul de nul de protecție PE se va monta pe pereți, în canale sau pe rastelele de cabluri, astfel încât lungimile acestui conductor să fie cât mai mici, respectiv impedanțele să fie cât mai mici iar echipamentele să poată fi racordate prin conductoare de protecție de ramificație cât mai scurte.

În cazul conductoarelor de nul din aluminiu sau aliaje din aluminiu montate îngropat în pământ sau pardoseală, acestea trebuie protejate pe toată lungimea de îngropare în tuburi metalice împotriva solicitărilor mecanice.

Conductorul de nul de protecție principal PE va avea rolul şi de conductor principal de legare la pământ. În acest scop conductorul PE principal se va lega la prizele de pământ care deservesc circuitele de nul.

***Bornele şi barele de nul ale tablourilor de distribuție se vor racorda la conductorul de nul de protecție principal printr-un conductor de protecție PE de ramificație diferit de conductorul PE de ramificație pentru racordarea carcaselor sau elementelor de susținere ale tablourilor respective.***

Carcasele şi elementele de susținere care trebuie racordate la conductoarele de nul se vor lega la conductorul de protecție PE principal printr-o singură legătură electrică. Nu mai este necesară o legătură suplimentară sau un mijloc de protecție suplimentar, dacă este prevăzută o protecție pentru declanşare în caz de defect într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 s.

Conductoarele de legare la priza de pământ a conductoarelor de nul de protecție PE principale se vor dimensiona avându-se în vedere folosirea acestor conductoare (montate aparent) şi drept conductoare de legare la pământ principale.

Conductoarele PE din aluminiu (Al) sau oțel-aluminiu (Ol-Al) neizolate (montate aparent) vor avea distanțele maxime pe orizontală între două puncte succesive de rezemare de 0,5 m la Al şi 0,8 m la Ol-Al.

La trecerea conductoarelor PE neizolate din aluminiu sau oțel-aluminiu prin planşee (la montarea în interior) sau la trecerea din pământ în aer (la montarea în exterior), conductoarele vor fi protejate în tuburi metalice pe o înălțime de 0,5 m în interior şi 1 m în exterior pentru protecția împotriva solicitărilor mecanice.

În cazul în care se prevăd descărcătoare de protecție împotriva supratensiunilor temporare (de scurtă durată de ordinul microsecundelor) în instalațiile de j.t ale consumatorului, acesta trebuie să se conecteze între conductoarele circuitelor protejate (de fază şi de nul de lucru) şi bară de echipotențiere prevăzută în acest scop. Aceasta din urmă trebuie să se lege la priza de pământ care deserveşte instalația de j.t, prin conductoare de ramificație separate. Pentru această funcție a prizei de pământ nu sunt condiții restrictive privind rezistența de dispersie a acesteia. Precizarea de mai sus este valabilă şi pentru instalațiile furnizorului.

**3.1.3.4. Linii electrice aeriene**

La liniile electrice aeriene de distribuție urbane şi rurale pentru legarea conductorului de nul la pământ, se vor prevedea prize de pământ la cepetele liniei principale şi ale liniilor ce se ramifică din acestea, precum şi pe linii, în locuri alese în aşa fel încât distanța între două prize pe orice traseu (linie plus ramificație) să nu fie mai mare de 1000 m; instalațiile de legare la pământ

trebuie astfel dimensionate încât rezistenţa de dispersie $R_p$ măsurată în orice punct al reţelei de nul să nu depăşească valoarea de 4 Ω.

Se admite depăşirea acestei valori cu condiţia asigurării unei tensiuni de atingere şi de pas sub valoarea de 50 V, pentru timpul de deconectare de cel mult 3 s, respectiv mai mari de 50 V, dacă timpul de deconectare este de cel mult 0,2 s; cazul prevederii protecţiei diferenţiale cu DDR. Pentru prizele de pământ locale rezistenţa de dispersie $R_{pl}$ se determină în funcţie de $I_{\Delta n}$. A se vedea paragraful 3.1.4.

În cazul stâlpilor, aceste tensiuni limită maxime admise se pot asigura cu ajutorul prizelor de dirijare a distribuţiei potenţialelor sau prin izolarea amplasamentului.

În cazul folosirii în comun a stâlpilor pentru LEA de înaltă tensiune şi de joasă tensiune, când în reţeaua de joasă tensiune se aplică protecţia prin legare la nul, se respectă prevederile din STAS 12604/5-90, anexa B.

În cazul liniilor aeriene, rezistenţa oricărei prize de pământ artificiale prevăzute, inclusiv a celor de la capetele liniilor şi ale ramificaţiilor, trebuie să fie de cel mult 10 Ω, cu condiţia ca rezistenţa de dispersie echivalentă a sistemului constituit din conductoarele de nul şi aceste prize de pământ să fie de cel mult 4 Ω.

În cazul solurilor cu rezistivitate mare (peste 200 Ωm) rezistenţa oricărei prize de pământ artificiale prevăzute, inclusiv a celor de la capetele liniilor şi ramificaţiilor, va fi de cel mult 20 Ω, cu condiţia ca rezistenţa de dispersie echivalentă a sistemului constituit din conductoarele de nul şi prizele de pământ legate la acestea să fie mai mică de 4 Ω.

La stâlpii LEA metalici sau din beton armat, conductorul de nul se leagă la armătura metalică a fiecărui stâlp, atât pentru protecţia împotriva atingerilor indirecte la stâlpul respectiv, cât şi pentru folosirea prizei de pământ naturale a stâlpului. În cazul conductoarelor izolate, de exemplu a celor torsadate, se admite izolarea suplimentară de protecţie, în loc de legarea la nul a stâlpului.

Pentru legarea la nul, stâlpii metalici sau din beton armat trebuie să fie dotaţi din fabricaţie cu piese de legare la instalaţia de protecţie.

În cazul în care, cu ajutorul prizelor de pământ naturale ale stâlpilor se poate obţine o rezistenţă de dispersie echivalentă a sistemului constituit din conductoarele de nul şi prizele naturale ale stâlpilor egală cu cel mult 4 Ω, se renunţă la prizele de pământ artificiale pe linia aeriană (atât pe cele de pe traseu, cât şi la cele de la capete).

În conformitate cu STAS 12604/5-90, în cazul unor secţiuni ale conductorului de fază până la 50 mm$^2$ inclusiv, de regulă, conductorul de nul va avea o secţiune cel puţin egală cu cea a conductorului de fază, cu excepţiile din prezentul îndreptar.

La secţiunile conductorului de fază peste 50 mm$^2$, conductorul de nul va avea cel puţin secţiunile indicate mai jos, în funcţie de secţiunea conductorului de fază:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Secţiunea conductorului de fază, în mm$^2$ | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 |
| Secţiunea conductorului de nul, în mm$^2$ | 50 | 50 | 70 | 70 | 95 |

În cazul unui conductor de nul comun pentru mai multe circuite racordate la aceeaşi sursă de alimentare (bară sau tabloul), de exemplu, circuitul casnic plus cel public, secţiunea minimă a conductorului de nul va fi corespunzătoare sumei secţiunilor conductoarelor unei faze ale acelor circuite, dar nu mai mare decât secţiunile fazei din circuitul cu puterea cea mai mare.

La liniile aeriene, pentru asigurarea unei rezistenţe mecanice corespunzătoare, secţiunea minimă a conductorului de nul va fi de 6 mm$^2$ pentru conductoarele din Cu şi de 16 mm$^2$ pentru conductoarele din aluminiu sau oţel-aluminiu.

În cazul stâlpilor de lemn la care se prevăd prize pentru legarea la pământ a conductorului de nul, legăturile acestuia la prize se vor realiza cu ajutorul unui conductor (principal) de legare la pământ, conform prevederilor STAS 12604/5-90.

Pentru stâlpii de beton armat este necesară prevederea legării galvanice a barelor longitudinale (aflate pe toată lungimea stâlpului), atât la partea superioară, cât şi la partea inferioară, prin câte un inel sudat (etrier).

Conductorul de nul şi prizele de pământ artificiale se vor lega la armăturile stâlpilor, cu excepţia armăturilor pretensionate (ale stâlpilor pretensionaţi). În acest ultim caz, stâlpul va avea

suplimentar, o bară netensionată destinată special pentru efectuarea legăturilor la pământ şi la nul.

În conformitate cu STAS 12604/5-90 se vor lega la conductorul de nul toate elementele metalice ale stâlpilor ce pot intra accidental sub tensiune:

- armăturile metalice ale stâlpilor;
- consolele metalice;
- brăţările de fixare pe stâlpi;
- armăturile corpurilor de iluminat public;
- ancorele etc.

Aceste elemente se vor putea lega la nul printr-o bară de protecţie comună din oţel sau oţel-aluminiu cu secţiunea minimă de 35 $mm^2$ fixată pe stâlp. Legarea la această bară a elementelor mai sus menţionate, precum şi legarea barei de pe stâlp la nulul LEA, se vor putea face cu conductoare din oţel - aluminiu sau din aluminiu cu secţiunea minimă de:

- 35 $mm^2$ pentru bara comună;
- 25 $mm^2$ pentru conductoarele de ramificaţie.

Pentru armăturile corpului de iluminat public se admite ca legarea la conductorul de nul să se realizeze printr-un conductor special destinat acestui scop, care să le însoţească pe cele de alimentare ale lămpilor, având aceeaşi secţiune.

În cazul reţelelor electrice de joasă tensiune cu conductoare izolate torsadate, în cazul stâlpilor de susţinere, se admite să se aplice izolarea suplimentară de protecţie constituită din corpul de material plastic izolat al armăturii de susţinere a fasciculului de conductoare torsadate. Astfel nu se mai impune legarea la nul a elementelor metalice ale stâlpului, cu excepţia corpurilor de iluminat ale căror armături se vor lega la nul în modul arătat mai sus.

La stâlpii terminali, de întindere şi de derivaţie se vor lega întotdeauna la conductorul de nul toate elementele metalice ce pot intra accidental sub tensiune: armăturile metalice, brăţările de prindere, armăturile corpurilor de iluminat, ancorele etc, în modul arătat mai sus.

Şi în acest caz se admite ca armăturile corpurilor de iluminat public (atunci când acestea sunt montate la o distanţă mare faţă de bornele sau bara de legare la nul a stâlpului) să fie legate la nul printr-un conductor special destinat acestui scop, de aceeaşi secţiune cu cele de alimentare a lămpilor.

Execuţia, verificarea şi recepţionarea prizelor de pământ artificiale se vor face în conformitate cu STAS 12604/5-90.

În cazul stâlpilor metalici sau de beton armat se admite ca în locul protecţiei prin legare la nul să se aplice legarea la pământ completată cu dirijarea distribuţiei potenţialelor, astfel încât tensiunea de atingere şi tensiunea de pas să nu depăşească 50 V; în această situaţie nu se prescrie valoarea rezistenţei de dispersie a instalaţiei de legare la pământ respective. Dacă prin dirijarea distribuţiei potenţialelor nu se poate respecta, justificat, limita de 50 V, se admite completarea cu izolarea amplasamentului.

În conformitate cu STAS 12604/5-90 conductoarele principale de legare la pământ şi cele de ramificaţie de pe stâlpi vor avea secţiunile şi grosimile minime de mai jos:

| | Oţel rotund sau profiluri | | Funie din oţel | Conductor din cupru | Aluminiu sau oţel-aluminiu*) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Secţiunea minimă $mm^2$ | Grosimea minimă $mm^2$ | Secţiunea minimă $mm^2$ | Secţiunea minimă $mm^2$ | Secţiunea minimă $mm^2$ |
| Conductorul principal | 100 | 4 | 95 | 25 | 35 |
| Conductorul de ramificaţie | 50 | 3 | 50 | 16 | 25 |

*) În cazul montajului îngropat, secţiunile sunt 70 $mm^2$, respectiv 50 $mm^2$; la îngroparea în pământ, conductoarele de Al sau Ol-Al trebuie protejate în ţevi de protecţie.

Se admit legături de ramificaţie din conductoare funie din aluminiu sau oţel - aluminiu cu secţiunea minimă de 16 $mm^2$ pentru legarea la nul sau la pământ numai dacă se află în afara zonelor cu solicitări mecanice (de exemplu dacă se află la o înălţime mai mare de 2 m faţă de suprafaţa solului).

### 3.1.3.5. Folosirea în comun a stâlpilor pentru LEA de medie tensiune şi de joasă tensiune

Protecţia împotriva tensiunilor de atingere şi de pas la folosirea în comun a stâlpilor pentru LEA de medie şi joasă tensiune, avându-se în vedere pericolele de apariţie în reţeaua de joasă tensiune (stâlpi, tablouri de distribuţie, întreruptoare, prize, receptoare etc.) a unor tensiuni de defect care ar putea duce la străpungeri de izolaţii şi electrocutări, se va realiza astfel:

- LEA de medie tensiune care au porţiuni pe stâlpi comuni cu LEA de joasă tensiune vor fi în întregime (inclusiv în porţiunile necomune) echipate cu izolatoare nestrăpungibile, iar numai pe porţiunea cu stâlpi comuni linia va fi de construcţie mecanic întărită, conform prevederilor Normativului PE 104-1994, cap.11, tabelul 11.5;
- se va prevedea deconectarea automată la puneri simple la pământ; în cazul reţelelor de medie tensiune izolate faţă de pământ în care nu se vor putea asigura condiţiile de selectivitate pentru deconectarea la puneri simple la pământ, se va organiza prin măsuri de exploatare adecvate deconectarea manuală într-un timp cât mai scurt posibil (timpul maxim admisibil în cazuri excepţionale justificate este de 30 minute), a liniei la care apar defecte cu punere simplă la pământ;
- lucrările la reţeaua de joasă tensiune se vor efectua după întreruperea prealabilă a reţelei de medie tensiune în porţiunile cu stâlpii folosiţi în comun; se admite lucrul la reţeaua de joasă tensiune cu reţeaua de medie tensiune, sub tensiune, numai cu scoaterea de sub tensiune a zonei de lucru a reţelei de joasă tensiune şi încadrarea ei cu scurtcircuitoare şi numai pentru lucrările şi în condiţiile prevăzute de Normele Specifice de Securitate a Muncii; NP 65-2002;
- în toate cazurile în care reţeaua de joasă tensiune se deconectează de la post şi are receptoare la consumatori conectaţi la reţeaua de joasă tensiune, reţeaua de joasă tensiune va fi scurtcircuitată şi legată la pământ;
- în funcţie de modul de izolare a reţelei de joasă tensiune şi de protecţia folosită împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă în reţeaua de joasă tensiune, se va alege una din variantele de realizare a reţelei de joasă tensiune, inclusiv stâlpii folosiţi în comun, menţionate mai jos. În toate cazurile se va justifica în documentaţia lucrării varianta aleasă.

Se disting următoarele 3 variante care pot apare în practică:

<u>Varianta 1</u>, în care conductorul de nul al reţelei de joasă tensiune este folosit şi drept conductor de nul de protectie, atât la consumatori cât şi la stâlpi.

Într-un astfel de caz conductorul de nul se leagă la priza de pământ a fiecărui stâlp. O astfel de situaţie este foarte favorabilă, deoarece condiţia principală este:

$$R_{pn} \le \frac{U_a}{I_p}$$

unde:

$R_{pn}$ este rezistenţa de dispersie rezultantă a întregului sistem, constituit din conductorul de nul şi toate prizele legate la aceasta (de protecţie şi de exploatare), în Ω; în acest caz coeficientul de atingere şi de pas se consideră $k_a = k_{pas} = 1$;

$I_p$ - curentul maxim de punere la pământ în reţeaua de înaltă tensiune, în A; dacă se prevede un conductor de compensare $I_p = r_c \cdot I_{def}$; în cazul în care nu se dispune de valori determinate $r_c = 0,8$;

$U_a$ - tensiunea maximă admisă conform STAS 2612-1987 şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru instalaţiile electrice din zone cu circulaţie frecventă, în funcţie de timpul de declanşare în cazul unei puneri la pământ pe partea de înaltă tensiune şi de categoria reţelei de înaltă tensiune, în V;

$I_{def}$ - curentul de defect determinat în conformitate cu STAS 12604/4-89.

În cazul în care, cu ajutorul prizelor de pământ naturale ale stâlpilor şi al prizelor de pământ din reţeaua de joasă tensiune (de exploatare şi de protecţie la consumatori), se realizează rezistenţa cerută, nu mai este necesar să se adauge prize artificiale la stâlpi.

<u>Varianta 2</u>, în care conductorul de nul al reţelei este folosit drept conductor de nul de protecţie însă numai la consumatori şi, eventual şi la o parte din stâlpii LEA. La stâlpii la care conductorul de nul este izolat faţă de armătura acestora, iar pentru protecţia împotriva electrocutărilor prin

atingere indirectă la stâlpii respectivi se foloseşte protecţia prin legare la pământ, combinată cu dirijarea distribuţiei potenţialelor şi, eventual, cu izolarea amplasamentului, condiţiile principale sunt (concomitent) următoarele:

a) $R_{pn} \le \frac{U_a}{I_p}$

conform celor arătate la varianta 1 de mai sus, cu diferenţa că la rezistenţa de dispersie $R_{pn}$ nu mai contribuie prizele de pământ de la stâlpi (se are în vedere căderea unui conductor de înaltă tensiune pe un conductor al reţelei de joasă tensiune);

b) $R_{ps} \le \frac{U_a}{I_p} \cdot \frac{\alpha + \beta - 1}{k_a}$

şi

$R_{ps} \le \frac{U_{pas}}{I_p} \cdot \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}}$

unde:

$I_p$ este curentul de punere la pământ maxim prin priză la un defect pe partea de î.t.; condiţia este cea impusă prizelor de pământ de la stâlpii LEA din localităţi;
- se are în vedere un defect la stâlp pe partea de înaltă tensiune;

$U_a$ şi $U_{pas}$ - tensiunile de atingere şi pas, conform STAS 2612-1987 şi tabelul 2.3 pentru stâlpii liniilor electrice aeriene;

c) $R_{ps} \le \frac{50}{I_{pjt}} \cdot \frac{\alpha_a}{k_a}$

unde:

$I_{pjt}$ este curentul maxim în reţeaua de joasă tensiune nedeconectabil prin protecţie; această condiţie poate fi înlocuită cu o condiţie mai simplă, şi anume:

$$\frac{k_a}{\alpha_a} \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}} \le 0{,}25$$

Rezultă că în cazul în care se prevede la stâlp o priză de dirijare la care $k_a = k_{pas} = 0{,}25$ şi care îndeplineşte condiţia:

$$R_{ps} \le \frac{U_a}{0{,}25 I_p},$$

se satisfac concomitent şi condiţiile "b" şi "c" de mai sus.

Varianta 3, în care conductorul de nul este izolat faţă de armătura stâlpului şi nu este folosit drept conductor de nul de protecţie.

La stâlpi se realizează o protecţie prin legare la pământ combinată cu dirijarea distribuţiei potenţialelor şi, eventual, şi cu izolarea amplasamentului.

În acest caz condiţiile principale sunt concomitent următoarele:

a) $R_{pn} \le \frac{900}{I_p}$

unde:

$I_p$ este curentul maxim de punere la pământ la un defect pe partea de înaltă tensiune, şi anume, ruperea şi căderea unui conductor al reţelei de înaltă tensiune peste un conductor al reţelei de joasă tensiune; se are în vedere o protecţie împotriva străpungerii echipamentelor racordate în reţeaua de joasă tensiune până la declanşarea liniei de înaltă tensiune ($0{,}6 \times 1500 = 900$ V);

b) $R_{ps} \le \frac{U_a}{I_p} \cdot \frac{\alpha_a + \beta - 1}{k_a}$

şi

$R_{ps} \le \frac{U_{pas}}{I_p} \cdot \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}}$

c) $R_{ps} \leq \frac{50}{I_{pjt}} \cdot \frac{\alpha_a}{k_a}$

sau

$$\frac{k_a}{\alpha + \beta - 1} \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas}}{\alpha} \leq 0{,}25$$

Pentru punctele "b" şi "c" sunt valabile cele menționate mai sus la varianta 2, condițiile fiind identice.

$I_p$ este curentul maxim de punere la pământ în rețeaua de înaltă tensiune şi poate fi:

$I_p = I_{rm}$ în cazul rețelelor izolate față de pământ (simbol I) când se prevede o protecție cu semnalizare împotriva punerilor la pământ simple şi o protecție cu deconectare automată împotriva punerilor la pământ duble, $I_{rm}$ fiind curentul maxim de punere la pământ dublă al LEA, nedeconectabil prin această protecție;

$I_p = I_{ps}$ în cazul rețelelor izolate față de pământ (simbol I) când se prevede în fiecare circuit o protecție cu deconectare automată, selectivă care să acționeze în cazul unei puneri la pământ simple, pe circuitul respectiv, $I_{ps}$ fiind curentul de punere la pământ simplă, însă nu mai puțin de 10 A;

$I_p = I_{pm}$ în cazul rețelelor legate la pământ printr-o rezistență ohmică, $I_{pm}$ fiind curentul de punere la pământ monofazată în rețeaua respectivă (curentul care se închide efectiv prin priza de pământ).

### 3.1.3.6. Corpuri de iluminat

Corpurile de iluminat care conform STAS 12604/5-90 trebuie racordate la instalația de protecție prin legare la nul, vor avea borne de protecție.

Legarea la instalația de protecție se va face numai printr-un singur conductor (separat de conductorul de nul de lucru) care poate fi din aluminiu, când alimentarea se face în cablu sau linie aeriană, şi va fi din cupru în cazul folosirii conductoarelor izolate în tuburi. Conductorul de protecție se va lega fie la nul, fie la instalația de legare la pământ. La corpurile de iluminat, în nici o situație nu se impune vreo măsură suplimentară de protecție față de simpla legare, fie la nul, fie la instalația de legare la pământ în modul arătat mai sus (fig.2).

### 3.1.3.7. Instalații electrocasnice

În locuințe, legarea la nulul de protecție se va realiza prin legarea aparatului la un conductor de nul de protecție care este diferit de conductorul de nul de lucru până la borna de legare la pământ a clădirii.

În cazul rețelelor aeriene de distribuție nu este obligatorie racordarea bornelor de nul ale tablourilor la o instalație de legare la pământ dacă între tabloul de distribuție şi conductorul de nul al LEA se prevăd două conductoare de nul, ambele montate izolat (a se vedea STAS 12604/5-90).

La stâlpul respectiv de branşament, în toate cazurile, armătura metalică a acestuia se va lega la conductorul de nul. De asemenea, se recomandă ca la dispunerea prizelor de pământ pe rețea să se aibă în vedere ca acestea să fie prevăzute pe cât posibil la stâlpii cu branşamente.

În acest caz, branşamentele monofazate la consumatorii casnici, se vor realiza cu trei conductoare (unul de fază şi două de nul). Cele două conductoare de nul se vor racorda la nulul rețelei prin două legături diferite.

La tabloul de distribuție racordarea se va face, de asemenea, la două borne de nul diferite (care pot fi însă montate pe aceeaşi bară metalică).

În cazul în care, între LEA şi tabloul de distribuție sau firida de branşament se prevăd conductoare izolate (de exemplu cele torsadate), se va putea prevedea un singur conductor de nul, comun pentru lucru şi protecție, cu respectarea simultană a următoarelor condiții:

a) conductorul de nul are o secțiune cu o treaptă mai mare decât secțiunea conductorului de fază; se admite ca secțiunile să fie egale numai în cazul conductoarelor concentrice izolate;

b) conductorul de nul al branşamentului este racordat la conductorul de nul al LEA prin două legături distincte, două cleme, respectiv la o singură clemă de prindere asigurate prin două

puncte (şuruburi) de fixare, iar tabloul de distribuție (firida de branşament) la două borne (cleme) distincte;

c) conductorul de nul este fixat astfel încât legătura la clemă (bornă) să nu fie solicitată mecanic, atât la cleme cât şi la firida de branşament;

d) armătura stâlpului la care se execută branşamentul (armătura care constituie o priză de pământ naturală) este legată la conductorul de nul al rețelei; această măsură nu este obligatorie la LEA cu conductoare torsadate;

e) continuitatea conductorului de nul şi legăturile duble la borne (cleme) atât la firida de branşament cât şi la clemele de legătură cu LEA, este verificată periodic, în conformitate cu reglementările în vigoare.

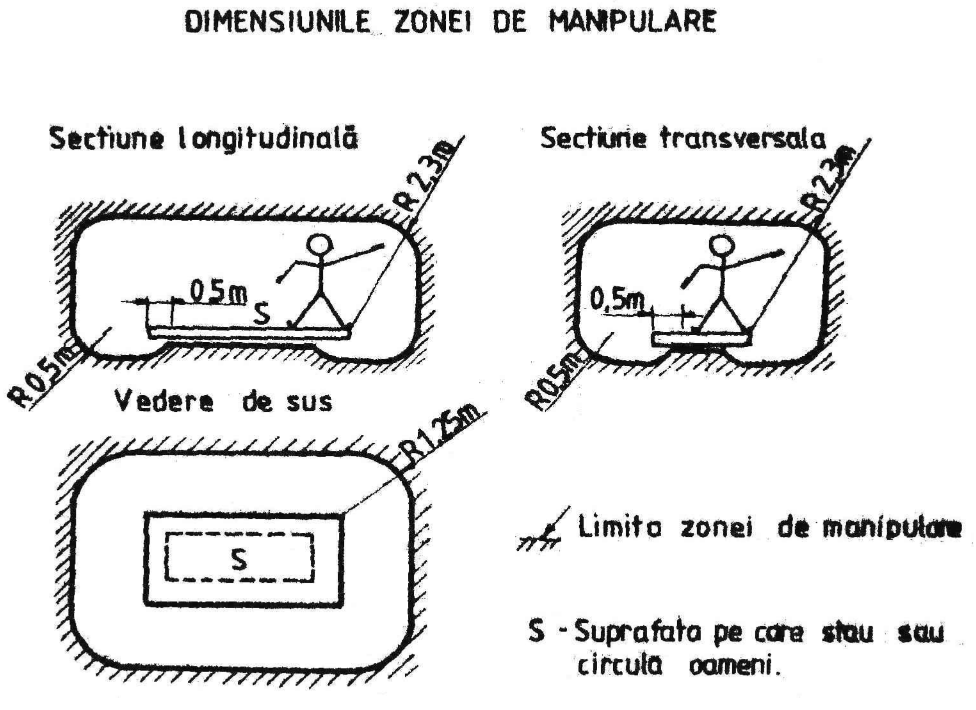
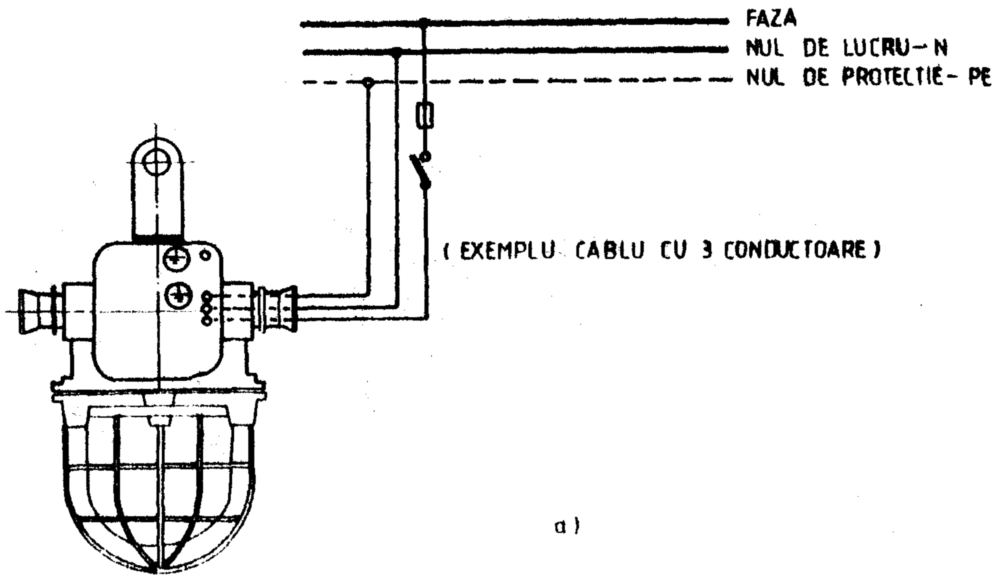



**Figura 1**



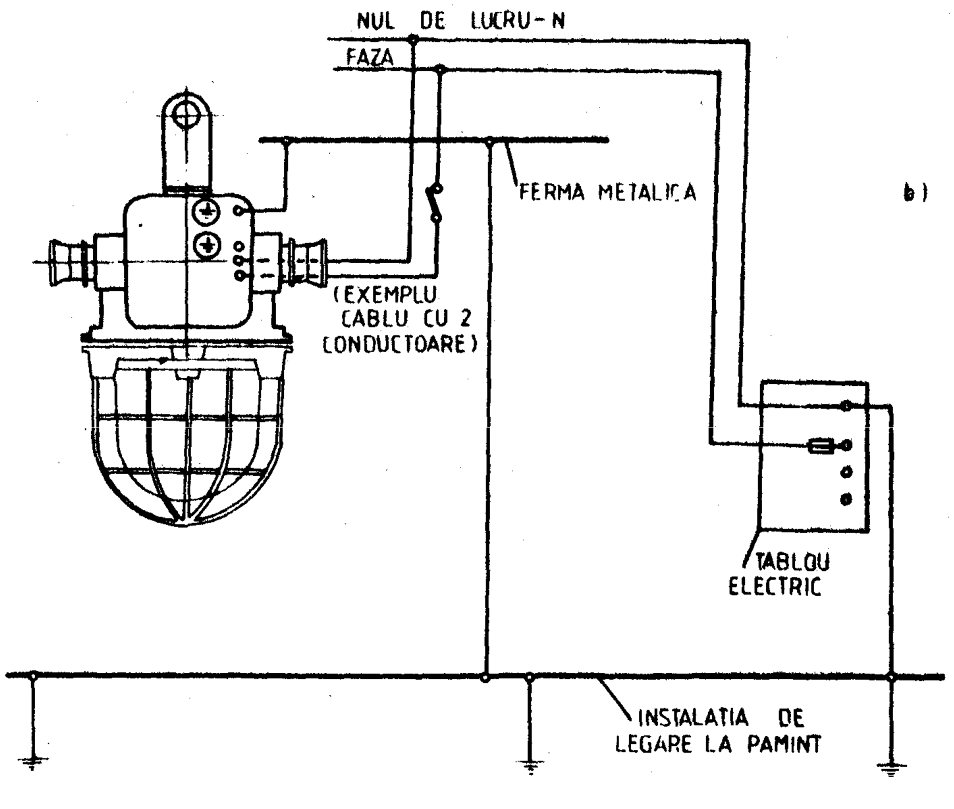




**Figura 2 - Legarea corpului de iluminat**
**a) La conductorul de nul de protecție**
**b) La instalația de legare la pământ**
**(de exemplu prin armăturile metalice ale stâlpului)**

### 3.1.4. Protecția automată la curenți de defect (PACD) cu dispozitiv diferențial la curent rezidual DDR. Protecția diferențială la curent rezidual

#### 3.1.4.1. Condiții generale

Protecția diferențială la curent rezidual este destinată pentru declanşarea (scoaterea de sub tensiune) rapidă (de regulă într-un timp mai mic de 0,2 s) a unui circuit electric la apariția unui curent defect $I_d$ față de masă sau față de pământ.

Protecția diferențială la curent rezidual se încadrează în categoria protecției automate împotriva curenților de defect PACD, reglementată în standardele STAS 8275-87, STAS 12604/5-90, normativul I-7-2002, Normele generale de protecția muncii 1996 şi NSSM 37/96.

Protecția diferențială la curent rezidual se realizează totdeauna cu ajutorul unui dispozitiv diferențial rezidual (DDR), asociat unui întreruptor automat cu bobina de declanşare în următoarele 3 variante:

- face parte integrantă din întreruptorul automat;
- este asociat întreruptorului automat şi este inclus în carcasa acestuia;
- este într-o carcasă separată şi conectat prin legături electrice la întreruptorul automat.

În oricare din cele trei variante de mai sus, DDR acționează asupra bobinei de declanşare a întreruptorului în vederea întreruperii circuitului protejat în cazul aparitiei unui curent rezidual.

Dispozitivul diferențial rezidual (DDR) are întotdeauna un tor care cuprinde toate conductoarele active şi un buton de control al bunei funcționări (butonul de test).

La circuitele trifazate cu nul de lucru N, totdeauna întreruptorul şi DDR sunt cu 4 poli (tetrapolar), simbol 4P.

La circuitele trifazate fără nul de lucru întreruptorul şi DDR sunt cu 3 poli (tripolar), simbol 3P.

La circuitele monofazate (F şi N), întreruptorul şi DDR sunt cu 2 poli (bipolar), simbol 2P.

<u>Protecția diferențială la curent rezidual se va utiliza în instalațiile electrice din rețelele de curent alternativ de joasă tensiune legate la pământ (simbol TT sau TN) şi se va prevedea pe următoarele categorii de circuite electrice</u>:

a) de alimentare cu energie electrică a unor receptoare electrice destinate să funcționeze nesupravegheate permanent de către personalul de deservire;

b) de alimentare cu energie electrică a unor receptoare cu componente electronice de importanță mare (valoare şi/sau utilizare);

c) în care se prevăd şi protecții rapide împotriva supratensiunilor; în aceste cazuri totdeauna protecția diferențială se montează în amonte (spre sursa de energie electrică) de dispozitivele de protecție împotriva supratensiunilor;

d) în cazurile în care nu se asigură prin protecția de suprasarcină şi de scurtcircuit declanşarea (deconectarea) în cel mult 3 s la apariția unui defect; la capetele circuitului datorită lungimii mari a acestuia sau secțiunii mici a conductoarelor (impedanțelor mari), sau în alte cauze care impun declanşări rapide (mai puțin de 0,2 s); se are în vedere în special siguranța la foc şi protecția rapidă împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă, prin întreruperea (deconectarea) rapidă a circuitului cu un defect de izolație față de masă sau față de pământ;

e) în cazurile justificate tehnic şi economic în care instalațiile de legare la pământ au rezistențe de dispersie mai mari decât cele impuse de legislația tehnică în vigoare pentru protecția prin legare la nul sau prin protecția prin legare la pământ (de exemplu în cazul solurilor de rezistivitate mare);

f) în cazurile în care se impune o protecție tehnologică împotriva defectelor rezistive la care protecția de suprasarcină sau de scurtcircuit nu acționează în timp util, curenții de defect fiind sub valorile curbelor de răspuns curent - timp ale acestor protecții; se exemplifică următoarele două cazuri:

- defectele de izolație incipiente (metalice sau la capete de înfăşurări) în receptoare, care nelichidate în timp util pot conduce la evoluții cu distrugeri de echipamente şi cu inițierea unui incendiu sau cu accidente de persoane;
- defecte prin rezistențe mari cum este ruperea şi căderea conductoarelor circuitului pe elemente de susținere sau pe pământ, care, nelichidate în timp util, pot conduce la avarii şi electrocutări de persoane.

Se vor avea în vedere de asemenea circuitele electrice menționate în NP I-7-2002 şi norma NSSM 37/96.

Pentru prevederea protecției diferențiale la curent rezidual în cazurile menționate mai sus, trebuie să se monteze întreruptoare automate cu DDR în următoarele categorii de tablouri electrice:

a) de distribuție a consumatorului TD, de regulă pe toate circuitele care se încadrează în cel puțin una din categoriile menționate la pct.3.6 (a ... f) din instrucțiunea 1RE-I-226-2002; se prevăd DDR fără temporizare (instantanee); în acest caz, de regulă $I_{\Delta n} = 0,03$ A;

b) generale (de regulă) TG în cazul prevederii DDR instantaneu la TD; la TG se va prevedea DDR selectiv, simbol [s], cu $\Delta t \leq 70$ ms şi $I_{\Delta n2} = 0,1$ sau 0,3 A din condiția $I_{\Delta n2} > 2I_{\Delta n1}$ şi totdeauna când se prevăd la TG descărcătoare de clasă B sau C;

c) de măsură şi protecție a furnizorului de energie electrică TMP unde este considerat punctul de delimitare între acesta din urmă şi consumator; când se prevede o protecție împotriva supratensiunilor de frecvență industrială PMT şi/sau la întreruperea nulului PN; întreruptorul cu DDR şi modulul de tensiune asociat MVA cu cele două funcții PMT şi PN se montează totdeauna în amonte de grupul de măsură (spre sursa de energie electrică). În acest caz rezultă, în mod obligatoriu, că trebuie prevăzut DDR la tabloul general TG şi la tablourile de distribuție TD dacă la TMP al furnizorului de energie electrică s-a prevăzut DDR sau dacă la TMP este prevăzut numai întreruptor automat cu protecție termică sau electromagnetică (fără DDR şi MVA), dar curentul de defect maxim în instalație $I_{dmax} > 1,5\ I_n$ ($I_n$ fiind curentul nominal de funcționare a întrerupătorului, respectiv treapta de funcționare a acestuia; DDR de la TMP - tabloul de măsură şi protecție al furnizorului de energie electrică - va fi selectiv simbol [s], cu $\Delta t \leq 140$ ms şi $I_{\Delta n3} > 2I_{\Delta n2}$; de regulă $I_{\Delta n3} \leq 300$ mA, pentru realizarea protecției împotriva inițierii unui incendiu (siguranța la foc) în instalația electrică protejată.

În cazul prevederii protecției diferențiale la curent rezidual în două sau mai multe tablouri în trepte (în cascadă) trebuie să se asigure selectivitatea necesară prin alegerea DDR selectiv, cu o anumită temporizare; a se vedea cele arătate mai sus.

De regulă, la alegerea DDR, se va ține seama de condiția :

$$I_{\Delta n2} > 2I_{\Delta n1}$$

unde $I_{\Delta n2}$ este curentul rezidual nominal al DDR din amonte (spre sursa de energie electrică) iar $I_{\Delta n1}$ al DDR din aval (față de DDR cu $I_{\Delta n2}$), respectiv spre circuitele consumatorului de energie electrică.

**3.1.4.2. <u>Instalația electrică a consumatorului trebuie să satisfacă următoarele condiții</u>:**

a) prevederea bornelor şi conductoarelor de protecție PE în toate circuitele unde este necesară realizarea protecției împotriva inițierii unui incendiu la receptoarele electrice şi împotriva şocurilor electrice prin atingerea indirectă la carcasele şi elementele de susținere a receptoarelor electrice şi/sau protecția împotriva supratensiunilor cu descărcătoare şi prin echipotențiere;

b) secțiunea conductoarelor active (de fază F şi nul de lucru N) se vor determina în conformitate cu normativul republican NP I-7-2002 şi standardul STAS 12604/5-90;

c) secțiunea conductorului de protecție PE va fi cel puțin egală cu cea a conductorului activ dar nu mai puțin de $S = 4\ mm^2$ dacă conductorul PE nu este inclus în distribuția conductoarelor de alimentare;

d) conductorul de protecție PE va fi din cupru sau oțel;

e) conductoarele active (de fază F şi nul de lucru N) şi cele de protecție PE vor avea învelişul exterior (izolația) de culori diferite, care vor fi menționate expres în documentația de proiectare. În circuitele trifazate conductoarele de fază F vor fi de culori diferite pentru cele trei faze; în cazul circuitelor monofazate conductoarele de fază pot fi de regulă de culoare albă sau roşie, iar conductoarele de nul de lucru N de culoare albastru deschis; de regulă izolația conductoarelor de protecție din cupru PE vor fi de culoare verde-galben;

f) în instalația electrică a consumatorului, conductoarele de protecție PE se montează în aceleaşi tuburi şi doze cu conductoarele active (F şi N); dacă circuitele sunt în cablu, conductoarele acestora pot avea funcțiile F, N şi PE;

g) legăturile electrice ale conductoarelor de protecție PE din doze se vor izola față de legăturile conductoarelor active (F sau N); izolările vor fi cel puțin la acelaşi nivel calitativ cu izolările între conductoarele active;

h) legăturile electrice ale conductoarelor de protecție PE se vor realiza de preferință cu cleme speciale (de derivație sau de îmbinare); legăturile prin răsucire trebuie să fie cositorite şi izolate conform celor arătate la pct.g) de mai sus;

i) conductoarele de protecție PE şi bornele de legătură din clemele PE ale tablourilor TG şi/sau TD, din doze, din prizele de forță şi fişele de alimentare a receptoarelor propriu-zise, vor fi izolate electric de conductoarele active şi bornele acestora (F şi N); astfel la toate aceste elemente bornele PE vor fi diferite şi izolate față de bornele N;

j) totdeauna conductoarele PE se vor lega numai la bornele PE special destinate (la tabloul TG şi TD, la fişele de alimentare, la carcasele receptoarelor); bornele PE din tablourile TG şi TD vor fi folosite numai pentru conectarea conductoarelor PE; clemele vor avea borne de intrare - ieşire. Se admite ca în loc de clemă să se prevadă o bară PE cu borne cu şuruburi, piulițe şi şaibe elastice la care să se racordeze conductoarele cu papuci la capete; totdeauna borna va fi marcată cu semnul ⏚ ; contactele electrice vor fi de suprafață; este interzisă folosirea şuruburilor cu vârf drept contact electric.

**3.1.4.3. <u>Condițiile tehnice necesare pentru coloana individuală CI (conducta electrică) de alimentare a tabloului consumatorului de la tabloul de măsură şi protecție TMP al furnizorului de energie electrică, sunt următoarele</u>:**

a) coloana CI de alimentare a tabloului consumatorului cuprinde întotdeauna:
- conductoarele active de fază notat L cu izolație de culori diferite pentru cele trei faze, rezervându-se culoarea albastru deschis pentru conductorul de nul de lucru N şi culoarea verde - galben pentru conductorul PE;
- conductorul activ de nul de lucru N cu izolația de culoare albastru deschis;
- conductorul de protecție PE cu izolația de culoare verde - galben;

b) conductoarele active vor avea secțiunea determinată conform NP I-7-2002, iar conductorul de protecție PE va avea secțiunea egală cu secțiunea conductorului activ de nul de lucru N, dar nu mai puțin de 4 $mm^2$ cupru dacă conductorul PE nu face parte din acelaşi cablu ca şi conductoarele active;

c) conductorul de protecție PE va fi din cupru sau oțel;

d) conductoarele active şi de protecție PE ale coloanei CE (F şi N) se vor instala în una din următoarele variante:
- toate conductoarele active (F şi N) şi PE în acelaşi tub de protecție;
- toate conductoarele fac parte din acelaşi cablu (cu conductoare de cupru);
- conductoarele active F şi N fac parte din acelaşi cablu iar conductorul de protecție PE este separat; cablul respectiv şi conductorul PE vor fi protejate în acelaşi tub de protecție;

e) conductoarele active F şi N şi de protecție PE vor fi racordate în borne distincte realizate cu cleme de racord sau în bara cu şurub, piuliță şi şaibă elastică pentru care capetele conductoarelor vor avea papuci de fixare; bornele clemelor de legătură (L, N sau PE) trebuie să aibe contacte de suprafață.

**3.1.4.4. <u>Condițiile tehnice necesare pentru tabloul de măsură şi protectie TMP al furnizorului de energie electrică sunt următoarele</u>:**

a) Carcasa tabloului va fi de preferință din material electroizolant rezistent la arc electric.

b) În tablou se va prevedea o bară PEN cu patru borne cu şuruburi, piulițe şi şaibe elastice sau cleme speciale PEN pentru racordarea următoarelor conductoare de legătură:
- conductorul PEN al racordului la rețeaua furnizorului de energie electrică;
- conductorul N al circuitului care trece prin întreruptorul cu protecție diferentială;
- conductorul PE al circuitului din coloana individuală de racord la tabloul consumatorului;
- conductorul de legare la priza de pământ locală.

c) În cazul carcasei tabloului TMP din material electroizolant, rezistența de dispersie a prizei de pământ locale rezultă din relația:

$$R_{pl} \leq 50 / I_{\Delta n}$$

unde $I_{\Delta n}$ este curentul rezidual nominal al protecției diferențiale din TMP. A se vedea tabelul de mai jos cu valorile rezistențelor de dispersie maxime admise $R_{pl}$ ale prizei de pământ locale în funcție de tensiunea de atingere maximă admisă $U_a$ şi curentul rezidual nominal $I_{\Delta n}$ al DDR.

| Curentul nominal rezidual al DDR $I_{\Delta n}$ | Rezistența maximă a prizei de pământ $R_{pl}$ (Ω) | |
|---|---|---|
| | $U_a$ = 50 V | $U_a$ = 25 V |
| 3 A | 16 | 8 |
| 1 A | 50 | 25 |
| 500 mA | 50 | 50 |
| 300 mA | 166 | 83 |
| 30 mA | 1660 | 833 |

În cazul carcasei tabloului TMP din metal, rezistența de dispersie a prizei de pământ locale trebuie să fie:

$R_{pl} \leq 4$ Ω.

În toate cazurile bornelor clemelor (F, N sau PE) trebuie să aibe contacte de suprafață iar şuruburile de fixare trebuie să fie cu cap îngropat; sunt interzise şuruburile cu contacte directe pe conductor. La intrările în tablouri se vor prevedea cleme de separare.

**3.1.4.5. <u>Condițiile specifice de aplicare a protecției diferențiale, respectiv PACD cu DDR, sunt următoarele</u>:**

a) se aplică numai în rețele de curent alternativ de joasă tensiune TT sau TN (condiționat şi IT);
b) izolația conductorului de nul de protecție trebuie să fie cel puțin la nivelul izolației conductoarelor de fază;
c) PACD cu DDR trebuie să cuprindă totdeauna un dispozitiv de control al funcționării protecției;
d) trebuie să existe totdeauna conductoare de protecție PE care, în aval de PACD respectiv în aval de întreruptorul cu DDR (spre consumatorul electric), să fie separate față de conductoarele active (față de conductorul de nul de lucru şi conductoarele de fază).
e) rezistența de dispersie $R_p$ a prizei de pământ de protecție pentru asigurarea condițiilor de funcționare a DDR $>I_{\Delta n}$ , trebuie să aibă cel mult valoarea rezultată din relația:

$R_p \leq U_a / 1{,}25 I_{\Delta n}$

unde:

$U_a$ este tensiunea de atingere maximă admisă; de regulă pentru condiții normale de pericol se consideră $U_a$ = 50 A; în general timpul de declanşare la protecțiile cu DDR este $t \leq 0{,}2$s, protecțiile de bază având de regulă $t \leq 0{,}05$s (timpul propriu al întreruptorului la care este asociat DDR);

$I_{\Delta n}$ este curentul nominal rezidual al DDR folosit pentru realizarea PACD.

**3.1.4.6. <u>În cazul rețelelor în schema TT cu implementarea protecției diferențiale cu DDR rezultă următoarele condiții specifice</u>:**

- neutrul rețelei este legat direct la pământ;
- masele sunt legate la o priză de pământ prin conductoare de ramificație şi conductorul principal PE;
- primul defect de izolație față de masă sau pământ este eliminat prin dispozitivul diferențial rezidual DDR amplasat fie pentru întreaga instalație de la consumator fie pe fiecare circuit electric pentru obținerea unei selectivități;
- soluția cu legarea la pământ de protecție şi cu dispozitiv de protecție diferențial rezidual pentru declanşarea la defect şi scoaterea de sub tensiune este cea mai simplă posibil atât în ceea ce priveşte concepția cât şi în ceea ce priveşte realizarea practică;
- în cazul în care masele care trebuie protejate sunt legate la prize de pământ diferite, este necesar ca pentru fiecare grupă de mase legate la aceeaşi priză de pământ să se prevadă câte un dispozitiv de protecție diferențial DDR.

Un dispozitiv de protecție DDR trebuie să fie instalat în amonte de circuitele (spre sursa de energie electrică) ale căror mase (grup de mase) sunt legate la o priză de pământ comună prin conductorul PE.

Valorile limită maxime admise pentru rezistența de dispersie $R_p$ se determină în funcție de curentul $I_{\Delta n}$ şi de tensiunea de atingere maximă admisă (50 V sau 25 V, în funcție de gradul pericolului de şoc electric).

**3.1.4.7. În cazul rețelelor în schema TN** trebuie să se facă o distincție între:
- schema cu conductor de nul comun pentru lucru şi protecție - simbol PEN; în acest caz schema are simbol TN-C;
- schema cu conductor de nul de lucru N separat de conductorul de nul de protecție PE; în acest caz schema are simbol TN-S.

În orice rețea TN va exista o porțiune în schema TN-C (cu conductor de nul comun PEN) şi o porțiune sau mai multe în schema TN-S.

În cazul schemelor TN cu porțiuni în scheme TN-C şi TN-S cu implementarea protecției diferențiale rezultă următoarele condiții specifice:

- neutrul rețelei este legat direct la pământ;
- masele sunt legate totdeauna la conductorul de protecție care la rândul lui este legat la pământ în mai multe puncte în conformitate cu cerințele standardului STAS 12604/5-90;
- primul defect de izolație față de masă sau față de pământ este eliminat prin dispozitivul diferențial rezidual DDR, dacă nu sunt realizate condițiile ca defectul să fie eliminat prin dispozitivele de protecție împotriva supracurenților respectiv prin protecția termică sau electromagnetică a întreruptorului de pe circuitul în cauză;
- dacă protecția la supracurenți nu este completată cu o protecție diferențială la curent rezidual, este necesară o verificare atentă a condițiilor de declanşare prin protecția împotriva suprasarcinilor atât la concepția instalației cât şi ulterior în exploatare; se impune totdeauna o verificare la punerea în funcțiune a instalației electrice, precum şi după orice modificare sau extindere a acesteia; în cazul în care la o astfel de verificare rezultă că nu sunt îndeplinite condițiile de declanşare la defect, este necesară prevederea complementară a unei protecții diferențiale la curent rezidual pe circuitele respective.

**3.1.4.8. Schema TN-C**

În toate cazurile, cu excepția circuitelor în care se prevăd protecții diferențiale cu DDR (dispozitiv diferențial la curent rezidual), şi a celor de alimentare a receptoarelor din tablourile electrice, se va folosi schema TN-C. Pentru cazurile în care se prevăd protecții diferențiale cu DDR a se vedea pct.3.1.4.9.

În schema TN-C barele şi conductoarele de nul se vor folosi în comun pentru lucru şi pentru protecție. În această variantă (în schema TN-C) se vor folosi bare (borne) sau conductoare pentru nulul de lucru N separate de barele (bornele) sau conductoarele de protecție PE numai în circuitele de alimentare a receptoarelor (utilajelor, aparatelor, agregatelor, dispozitivelor) electrice. A se vedea pct.3.1.4.9.

Legăturile electrice între tablourile electrice (generale, principale, intermediare şi secundare), la care se racordează sau nu şi receptoare electrice, se realizează în conducte electrice (cabluri sau conductoare în tuburi) cu conductor comun de nul PEN (de lucru şi de protecție). Fac excepție numai tablourile electrice secundare monofazate la care legăturile cu tabloul electric de alimentare (general, principal, intermediar) trifazat se vor realiza cu trei conductoare din care două active (fază şi nul de lucru) şi unul de nul de protecție PE. A se vedea pct.3.1.4.9.

La toate tablourile electrice generale, principale, intermediare sau secundare trebuie să se prevadă o bară de nul PEN folosită în comun pentru lucru şi pentru protecție. Această bară de nul PEN trebuie să fie legată totdeauna printr-un conductor separat la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

Bara de nul PEN a unui tablou electric trebuie să aibă borne de legătură separate pentru fiecare conductor de nul racordat la această bară PEN. Este interzis ca la o bornă să se racordeze două sau mai multe conductoare PEN, N sau PE. Astfel bara PEN a tabloului va avea un număr suficient de borne pentru următoarele legături electrice:

- conductorul de racordare a barei PEN a tabloului în cauză la instalația de legare la pământ a obiectivului;
- conductoarele PEN de legătură cu alte tablouri racordate la tabloul în cauză;
- conductoarele de nul de lucru N al circuitelor de alimentare a receptoarelor electrice monofazate la tabloul în cauză;
- conductoarele de nul de protecție PE pentru carcasele metalice ale receptoarelor electrice alimentate din tabloul în cauză;
- conductorul de nul de protecție PE pentru carcasa metalică a tabloului în cauză.

În cazul în care tablourile de distribuție vin de le producător cu două bare de nul, şi anume o bară N şi o bară PE, aceste două bare trebuie să fie legate electric între ele.

În schemele TN-C se va acorda o atenție deosebită pentru racordarea barei de nul N sau PEN la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv printr-un conductor PE şi o bornă de legătură separată la conductorul principal de legare la pământ unde se realizează această legătură.

### 3.1.4.9. Schema TN-S

Schema TN-S se va aplica <u>numai</u> în cazul următoarelor circuite:

a) circuitele electrice sunt prevăzute cu protecții diferențiale cu DDR (dispozitiv diferențial la curent rezidual);
b) circuitele electrice de alimentare a tablourilor electrice monofazate;
c) circuitele electrice de alimentare a receptoarelor (utilaje, aparate, agregate, dispozitive) electrice monofazate sau trifazate care necesită şi un conductor de nul de lucru N (cu rol de conductor activ).

În schemele TN-S tablourile electrice trebuie prevăzute cu două bare distincte de nul şi anume:

- bara de nul de lucru simbol N;
- bara de nul de protecție simbol PE.

Bara de nul de protecție PE se va racorda la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

În cazul circuitelor prevăzute cu protecții diferențiale cu DDR trebuie să se realizeze totdeauna o schemă TN-S astfel încât să se realizeze condițiile de funcționare a DDR (dispozitivului diferențial la curent rezidual). Introducerea acestui dispozitiv de protecție impune următoarele condiții principale:

- conductorul activ de nul de lucru N trebuie să fie separat (izolat electric) de conductorul de protecție PE începând cu bornele din amonte ale întreruptorului acționat prin DDR şi până la carcasele receptoarelor electrice alimentate prin circuitele protejate cu DDR, aflate în aval de acesta;

- conductorul activ de nul de lucru N trebuie să fie izolat electric față de pământ (inclusiv față de conductorul de protecție PE) cel puțin la acelaşi nivel de izolație ca şi conductoarele active de fază.

În cazul circuitelor electrice de alimentare a tablourilor monofazate trebuie să se realizeze de regulă o schemă TN-S chiar dacă circuitele respective nu sunt protejate cu DDR.

În cazul circuitelor de alimentare a receptoarelor (utilaje, aparate, dispozitive, agregate electrice) totdeauna conductorul activ de nul de lucru N este separat de conductorul de protecție PE (de legare la nul sau de legare la pământ), realizându-se astfel circuite de alimentare în schema TN-S.

În aceste cazuri, conductorul de protecție PE trebuie să fie separat şi izolat electric față de conductorul activ de nul de lucru N până tabloul de distribuție în care bara comună de nul de lucru şi de protecție PEN este racordată la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

### 3.1.4.10. Verificări înainte de darea în exploatare a protecției diferențiale

La darea în exploatare a unor instalații în care s-au prevăzut protecții diferențiale cu DDR trebuie efectuate următoarele verificări:

- marcarea bornelor şi conductoarelor de fază L, de nul de lucru N, de nul de lucru şi de protecție PEN (dacă este cazul), de protecție PE (prin culoare şi/sau marcate cu litere sau semne);

- identificarea fazelor, nulului şi conductorului PE şi verificarea integrităţii lor;
- dacă sunt scoase patroanele fuzibile sau poziţia deschis a întreruptoarelor din TMP şi din tabloul general TG al consumatorului şi dacă întreruptoarele automate au fost blocate în poziţia “deschis”;
- măsurarea rezistenţei de izolaţie pe L şi N; aceasta se face cu un megohmetru de 2500 V; valoarea rezistenţei de izolaţie se consideră satisfăcătoare dacă este mai mare de 50 MΩ;
- existenţa conductoarelor de protecţie PE (de ramificaţie şi principale) şi a separării electrice ale acestora faţă de conductoarele active (de lucru) L şi N;
- măsurarea rezistenţei de dispersie a instalaţiei de legare la pământ şi la nul; rezistenţa de dispersie a prizei de pământ şi a circuitului de nul trebuie să aibă valorile indicate în prezentul capitol;
- alegerea corectă a siguranţelor fuzibile şi a întreruptoarelor automate; după racordarea la reţeaua furnizorului de energie electrică se montează patroanele fuzibile şi/sau se aduc întreruptoarele automate în poziţia “închis”;
- se verifică prezenţa tensiunii şi se măsoară aceasta la tabloul general al consumatorului cu ajutorul voltmetrului;
- se verifică buna funcţionare a dispozitivelor diferenţiale la curent rezidual DDR şi a modulelor de tensiune asociate MVA; în acest scop toate aceste dispozitive de protecţie trebuie să fie prevăzute fiecare din fabricaţie cu butoane de testare a bunei funcţionări; se verifică de asemenea legăturile dispozitivelor de protecţie privind asigurarea condiţiilor de funcţionare a acestora în caz de defect (curent de defect la DDR sau tensiuni accidentale).

### 3.2. Reţele izolate faţă de pământ (simbol I). Protecţia prin legare la pământ (simbol IT)

3.2.1. În reţelele izolate faţă de pământ, protecţia împotriva atingerilor indirecte se va realiza prin aplicarea concomitentă a următoarelor măsuri:

a) legarea la pământ;

b) controlul permanent al izolaţiei faţă de pământ a reţelei; se vor respecta prevederile standardelor STAS 12604/5-90 şi STAS 12604-1987 pct. 3.1.9.1;

c) deconectarea rapidă în cel mult 3 s a sectorului defect în cazul unei puneri la pământ duble.

Se interzice legarea la pământ a vreunui circuit sau a unui conductor electric din reţeaua respectivă.

În reţelele trifazate punctul neutru al sursei va fi menţinut izolat faţă de pământ şi nu va fi folosit pentru închiderea vreunui circuit de lucru; se interzice, de exemplu, folosirea neutrului pentru circuitele de alimentare a utilajelor monofazate (iluminat, scule portative etc.).

3.2.2. Controlul permanent al izolaţiei se va face în reţelele electrice de curent alternativ cu tensiuni peste 50 V şi în reţelele electrice de curent continuu cu tensiuni peste 120 V.

Se vor prevedea dispozitive pentru semnalizare (optică şi, după caz, şi acustică) şi deconectarea în cazul unor puneri simple la pământ.

Se admite funcţionarea protecţiei numai pe semnalizarea punerilor simple la pământ şi deconectarea automată a punerilor duble la pământ, cu condiţia respectării prevederilor de la pct.3.2.9.d. de mai jos.

Fac excepţie de la cele de mai sus circuitele de comandă alimentate de la transformatoarele monofazate, la care se admite ca în locul controlului permanent al rezistenţei izolaţiei faţă de pământ, să se facă un control periodic al acestei rezistenţe, în următoarele condiţii:

- transformatorul să fie folosit exclusiv pentru alimentarea circuitelor de comandă şi semnalizare;
- puterea transformatorului să nu depăşească 5 kVA.

3.2.3. Legarea la pământ de protecţie în reţelele izolate faţă de pământ se va realiza prin recordarea carcaselor metalice ale tuturor echipamentelor electrice, atât la o reţea generală de protecţie, cât şi suplimentar, la o instalaţie de legare la pământ locală.

Reţeaua generală de protecţie va realiza o legătură conductoare continuă între toate carcasele şi elementele de susţinere metalice ale echipamentelor electrice alimentate de la aceeaşi sursă de energie electrică (transformator sau generator), precum şi o legătură de rezistenţă electrică neglijabilă între toate instalaţiile de legare la pământ locale.

Fac excepție corpurile de iluminat care sunt prevăzute cu o singură legătură de protecție; se leagă obligatoriu numai la instalația generală de legare la pământ.

Cutiile de îmbinare şi ramificații ale instalațiilor de iluminat, aflate în zona de manipulare, se vor lega suplimentar şi la priza de pământ locală.

3.2.4. Pentru realizarea instalației generale de legare la pământ de protecție se pot folosi, la alegere, următoarele:

a) conductoarele de protecție ale cablurilor (al patrulea conductor în cazul echipamentelor trifazate sau al treilea conductor în cazul echipamentelor bifazate);

b) învelişurile metalice continue din plumb sau aluminiu ale cablurilor;

c) conductoarele special destinate acestui scop (de exemplu, în cazul liniilor electrice aeriene);

d) tuburile metalice continue de protejare a conductoarelor electrice.

În cazul în care există mai multe sectoare alimentate de la aceeaşi sursă, rețelele generale de protecție ale fiecărui sector vor fi conectate între ele, constituind o rețea comună (generală).

3.2.5. Rețeaua generală de protecție trebuie să fie legată la cel puțin două prize de pământ situate în puncte diferite. Rezistența de dispersie a rețelei de legare la pământ va fi de cel mult 2 Ω, pentru excavațiile subterane şi de cel mult 4 Ω, pentru celelalte categorii de instalații sau echipamente.

Se admite utilizarea unei singure prize principale de legare la pământ, în cazul excavațiilor subterane cu durata de funcționare sub 5 ani.

3.2.6. Legarea echipamentului electric la rețeaua generală de protecție şi la instalația de legare la pământ locală se va executa la două borne diferite ale carcasei, marcate cu semnele convenționale respective.

În cazul în care carcasa nu este prevăzută din construcție cu două borne diferite, se admite ca a două legătură să se facă la un şurub de fixare a carcasei respective, cu condiția ca legătura să se asigure cu şaibe şi piulițe.

3.2.7. La o instalație de legare la pământ locală se vor racorda echipamentele electrice aflate sau grupate în aceeaşi zonă (clădire, galerie, platformă etc.).

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ locală, se va determina astfel încât $U_a$ şi $U_{pas}$ în cazul unei puneri la pământ simple să nu depăşească următoarele valori (a se vedea şi tabelul 2.2 din prezentul îndreptar):

a) 50 V, în cazul instalațiilor de curent alternativ şi 120 V, în cazul instalațiilor de curent continuu iar timpul de deconectare în caz de defect trebuie să fie mai mic sau cel mult egal cu 3s;

b) 25 V, în cazul rețelelor de curent alternativ din exploatările subterane (exploatări miniere).

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ locale este :

$$R_p = \frac{U_a}{I_p}$$

sau

$$R_p = \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde $I_p$ este curentul de punere simplă la pământ.

În cazul în care nu se dispune de date pentru determinarea curentului de punere simplă la pământ, rezistența de dispersie maximă admisă a prizei locale va avea următoarele valori:

a) 20 Ω pentru prizele de pământ locale aferente posturilor de transformare şi instalațiilor din camerele de maşini (din exploatările subterane);

b) 50 Ω pentru prizele de pământ locale aferente celorlalte instalații electrice.

3.2.8. În cazul în care realizarea unei rețele generale de protecție conduce la un cost ridicat al instalației, se admite racordarea numai la instalații de legare la pământ locale, cu respectarea concomitentă a următoarelor condiții:

a) rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ să fie mai mică sau cel mult egală cu 4 Ω;

b) rețeaua electrică şi echipamentele care sunt alimentate din aceasta să nu se afle în exploatări subterane (unde se va realiza totdeauna o rețea generală de protecție);

c) să se aplice suplimentar dirijarea distribuției potențialelor şi/sau izolarea amplasamentelor;

d) la dimensionare se vor lua în considerare în calcule următorii curenți:

- în cazul instalațiilor electrice echipate cu dispozitive care permit semnalizarea şi deconectarea sectorului în cazul unei puneri la pământ simple, se ia curentul de punere simplă, însă nu mai puțin de 10 A;
- în cazul instalațiilor electrice echipate cu dispozitive care permit semnalizarea punerilor la pământ simple şi deconectarea automată în cazul punerilor la pământ duble, se ia curentul de punere dublă la pământ, egal cu 1,25 ori valoarea de reglaj a protecției prevăzute împotriva punerilor duble la pământ.

## 4. REȚELE ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

### 4.1. Rețele legate la pământ (simbol T). Protecția prin legare la pământ în schemele $T_1T$ şi $T_2T$

#### 4.1.1. Condiții generale

4.1.1.1. În cazul rețelelor legate la pământ direct sau prin rezistență ohmică dimensionarea instalației de legare la pământ va fi astfel efectuată, încât să se realizeze tensiuni de atingere şi de pas sub valorile admise de STAS 2612-1987 şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, în funcție de timpul de declanşare la acționarea protecției de bază $t_b$ şi de categoria rețelei.

La stabilirea protecției de bază, se va avea în vedere situația de ansamblu a protecțiilor din rețea şi se va considera acea protecție care trebuie să acționeze în mod normal cel mai rapid (prima) la o punere la pământ (scurtcircuit monofazat). Pentru rețelele legate la pământ prin rezistență ohmică se vor respecta şi prevederile îndreptarelor 1 RE-$I_p$ 35/1-90 şi 1 RE-$I_p$ 35/2-92.

Exemple:

a) în cazul stațiilor cu tensiunea nominală de 220 kV sau mai mare se poate considera timpul protecției instantanee plus timpul propriu al întreruptoarelor (protecția diferențială de bare, protecția diferențială de transformator sau bloc generator); de regulă, timpul este de 0,15 - 0,2 s.

b) la stațiile cu tensiunea nominală de 110 kV sau mai mică se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță de pe linia (liniile) care alimentează stația; în general, timpul este de 0,5 - 1 s.

c) în cazul liniilor de transport se poate considera timpul primei trepte a protecției de distanță sau în cazul liniilor scurte, protecția diferențială a liniei: în general, timpul este de 0,15 - 0,2 s;

d) în cazul liniilor de distribuție (cele radiale) se poate considera timpul primei trepte a protecției de distanță (sau a celei maximale); de regulă, timpul este 0,5 - 1 s.

Aceşti timpi sunt indicați cu titlul de exemplificare, considerarea lor trebuie totdeauna justificată.

4.1.1.2. Instalația de legare la pământ trebuie să îndeplinească condițiile de stabilitate termică, luând în considerare timpul de trecere a curentului de punere la pământ prin priză, egal cu timpul protecției de rezervă; dacă acesta nu există, se ia timpul treptei a II-a a protecției de bază.

Se va considera ca protecția de rezervă, protecția care acționează în cazul refuzului de funcționare a protecției de bază la o punere la pământ (un scurtcircuit monofazat).

Exemple:

a) în cazul stațiilor importante cu tensiunea nominală de 220 kV sau mai mare se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță, de la capetele opuse ale liniilor de alimentare (din amonte) pentru care, în general, timpul este de 0,4 - 1s sau timpul unei protecții maximale din amonte pentru care timpul este de regulă 1,5 - 3 s;

b) la stațiile cu tensiunea nominală de 110 kV sau mai mică, se poate considera timpul protecției maximale de pe liniile care alimentează stația respectivă; de regulă este de 0,8 - 3 s;

c) în cazul liniilor de transport se consideră treapta a II-a a protecției de distanță de pe elementele din amonte; de regulă, timpul este de 0,4 - 1 s;

d) în cazul liniilor de distribuție se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță (sau a celei maximale); de regulă, timpul este de 0,8 - 3 s.

Aceşti timpi sunt indicați cu titlul de exemplificare, considerarea lor trebuie totdeauna justificată.

4.1.1.3. În calculele de dimensionare a instalației de legare la pământ, se va lua în considerare curentul efectiv de punere la pământ prin priză în cazul unui scurtcircuit monofazat în instalația respectivă sau în afara acesteia. Se va considera curentul maxim corespunzător etapei finale pentru care este proiectată instalația.

4.1.1.4. În vederea egalizării potențialelor în incintele stațiilor, centralelor, platformelor industriale etc., se vor lega între ele toate instalațiile de legare la pământ din incintă şi se vor racorda la instalația de legare la pământ comună toate conductele metalice, cum sunt (conductoarele de protecție ale liniilor aeriene, conductele de apă şi canalizare, învelişurile metalice ale cablurilor, țevile cu fluide (chiar cele combustibile), şinele de cale ferată, armăturile metalice ale construcțiilor de beton armat şi alte construcții metalice, realizându-se astfel o rețea generală de legare la pământ în incintă sau pe platformă.

**4.1.2. Stații şi posturi de transformare exterioare**

4.1.2.1 Stațiile şi posturile de transformare exterioare îngrădite se încadrează în categoria instalațiilor electrice cu circulație redusă (în incintă), iar zonele din exteriorul acestora, vor fi încadrate fie în categoria instalațiilor electrice din zona cu circulație redusă, fie în categoria celor cu circulație frecventă, în funcție de distanță față de marginea drumurilor, a şoselelor sau a îngrădirilor locuințelor.

Pentru incintele stațiior de conexiuni şi transformatoare exterioare, tensiunile de atingere şi de pas maxime vor fi cele din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație redusă, corespunzătoare unuia din cele două cazuri şi anume cu sau fără organizarea folosirii permanente şi de către toate persoanele a mijloacelor individuale de protecție izolante în timpul circulației sau a efectuării lucrărilor.

4.1.2.2. Pentru respectarea limitelor admise pentru tensiunile de atingere şi de pas, în scopul respectării limitelor admise pentru tensiunile de atingere şi de pas, se vor aplica întotdeauna următoarele măsuri:

- se va realiza o instalație de legare la pământ folosind prizele de pământ naturale, în special armăturile tuturor fundațiilor de beton armat şi alte construcții metalice îngropate;
- se va realiza o priză de pământ artificială numai pentru completarea prizelor de pământ naturale şi numai dacă este necesar; se va justifica prin proiect utilizarea prizei artificiale;
- se va realiza o instalație de dirijare a distribuției potențialelor în jurul echipamentelor electrice.

În cazul în care cu aceste mijloace nu se pot obține valorile admise ale tensiunilor de atingere şi de pas, se va realiza izolarea amplasamentelor în zonele de acces din apropierea echipamentelor electrice.

4.1.2.3. Se va avea în vedere protecția împotriva transmiterii de tensiuni periculoase în afara incintei stației prin: şine de cale ferată, cabluri, conducte metalice lungi (de exemplu, conductele de apă etc.),

4.1.2.4. Dirijarea distribuției potențialelor se aplică în situația în care nu va fi posibil să se obțină cu mijloace justificate economic o tensiune a instalației de legare la pământ $U_p$ mai mică sau cel mult egală cu valoarea maximă admisă pentru tensiunea de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$.

Stabilirea eficacității unei instalații de dirijare a distribuției potențialelor se va face prin determinarea coeficienților de atingere $k_a$ şi de pas $k_{pas}$ definiți la pct. 1.3.5.1. şi 1.3.5.2 (conform STAS 8275-87).

Tensiunile de atingere şi de pas obținute vor fi:

$$U_a^` = k_a \cdot U_p$$

$$U_{pas}^` = k_{pas} \cdot U_p$$

Dacă $U_a^`$ şi $U_{pas}^`$ sunt mai mici sau cel mult egale cu valorile maxime admise, instalaţia de dirijare a distribuţiei potenţialelor se consideră corespunzătoare.

4.1.2.5. Izolarea amplasamentelor se va aplica în cazul în care $U_a^`$ şi $U_{pas}^`$ rezultate în urma dirijării distribuţiei potenţialelor depăşesc valorile tensiunilor de atingere şi de pas admise.

Izolarea amplasamentelor se va realiza prin acoperirea zonelor de circulaţie şi de deservire a echipamentelor cu piatră sfărâmată sau cu plăci din beton sau asfalt.

Faţă de cele de mai sus, condiţiile pentru asigurarea unor tensiuni de atingere şi de pas sub limitele admise, sunt:

$$\frac{k_a \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha_a} \leq U_a \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha_{pas}} \leq U_{pas}$$

în care:

$U_a$ ($U_{pas}$) este tensiunea de atingere (de pas) maximă admisă, conform tabelului 2.3 cu precizările din prezenta lucrare, V;

$R_p$ este rezistenţa instalaţiei de legare la pământ de protecţie;

$I_p$ - curentul de punere la pământ prin priză, în A;

$k_a$ ($k_{pas}$) este coeficientul de atingere (de pas) corespunzător prizelor de dirijare a distribuţiei potenţialelor;

$\alpha_a$ - coeficientul de izolare a amplasamentului, considerat pentru determinarea tensiunilor de atingere; dacă nu sunt determinări pentru cazul respectiv se vor considera în calcule următoarele valori:

$\alpha_a$ = 2, pentru balast (piatră spartă) de 15 cm grosime;

$\alpha_a$ = 3, pentru dale de beton;

$\alpha_a$ = 5, pentru asfalt de 2 cm grosime pe strat de pietriş;

$\alpha_{pas}$ - coeficientul de izolare a amplasamentului considerat pentru determinarea tensiunilor de pas;

$\alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3$

- dacă nu sunt determinări pentru cazul respectiv se vor considera în calcule următoarele valori:

$\alpha_{pas}$ = 5, pentru balast (piatră spartă) de 15 cm grosime;

$\alpha_{pas}$ = 9, pentru dale de beton;

$\alpha_{pas}$ = 17, pentru asfalt de 2 cm grosime pe strat de pietriş.

4.1.2.6. Elementele componente ale instalaţiilor de legare la pământ de protecţie trebuie să fie stabile termic în condiţiile standardului STAS 12604/4-89.

4.1.2.7. În cazul staţiilor şi posturilor de transformare care alimentează consumatorii din afara incintei acestora se vor avea în vedere tensiunile care se pot transmite acestora (a se vedea cele menţionate la pct.2.1.1 şi 3.1.3.2 privind folosirea în comun a instalaţiilor de legare la pământ).

4.1.2.8. În toate situaţiile când nu se adaugă un strat izolant (piatră, dale de beton sau asfalt) se poate considera în calcul rezistenţa electrică pe care o prezintă solul la trecerea curentului prin tălpile omului $R_d$. La un singur picior $R_d \approx 3\rho$ unde $\rho$ este rezistivitatea solului din punctul considerat.

În cazul tensiunilor de atingere $R_{da} = \frac{R_d}{2}$ fiind două rezistenţe $R_d$ în paralel (a se vedea fig.3).

În cazul tensiunilor de pas se consideră $R_{d\,pas} = 2R_d$ fiind două rezistenţe $R_d$ în serie.

În aceste cazuri coeficienţii de amplasament, sunt:

$$\alpha_a = \frac{R_{da} + R_h}{R_h} = \frac{R_{da}}{R_h} + 1$$

$$\alpha_a = \frac{1{,}5\rho}{R_h} + 1$$

şi

$$\alpha_{pas} = \frac{R_{dpas} + R_h}{R_h} = \frac{R_{dpas}}{R_h} + 1$$

$$\alpha_{pas} = \frac{6\rho}{R_h} + 1$$

Este valabilă, de asemenea, relația mai sus:

$$\alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3$$

4.1.2.9. În cazul în care se dimensionează instalația de legare la pământ având la bază curentul prin corpul omului $I_h$ (conform celor menționate la subcapitolul 2.2 din prezentul îndreptar), condițiile de calcul sunt:

$$R_p \le \frac{I_h \cdot R_h \alpha_a}{k_a I_p} \quad \text{şi} \quad R_p \le I_h R_h \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas} I_p}$$

unde:

$$\alpha_a = \frac{1{,}5\rho}{R_h} + 1 \quad \text{şi} \quad \alpha_{pas} = \frac{6\rho}{R_h} + 1$$

Rezultă:

$$R_p \le \frac{I_h(1{,}5\rho + 3000)}{k_a \cdot I_p} \quad \text{şi} \quad R_p \le \frac{I_h(6\rho + 3000)}{k_{pas} \cdot I_p}$$

sau

$$R_p \le 1{,}5 I_h \frac{\rho + 2000}{k_a \cdot I_p} \quad \text{şi} \quad R_p \le 6 I_h \frac{\rho + 500}{k_{pas} \cdot I_p}$$

unde ρ este rezistivitatea solului în Ωm.

Dacă se scrie condiția de la pct.2.2.4 $R_h \cdot I_h \le U_a$, respectiv $R_h \cdot I_h \le U_{pas}$ rezultă condițiile:

$$R_p \le U_a \frac{\frac{\rho}{2000} + 1}{k_a \cdot I_p} \quad \text{şi} \quad R_p \le U_{pas} \frac{\frac{\rho}{500} + 1}{k_{pas} \cdot I_p}$$

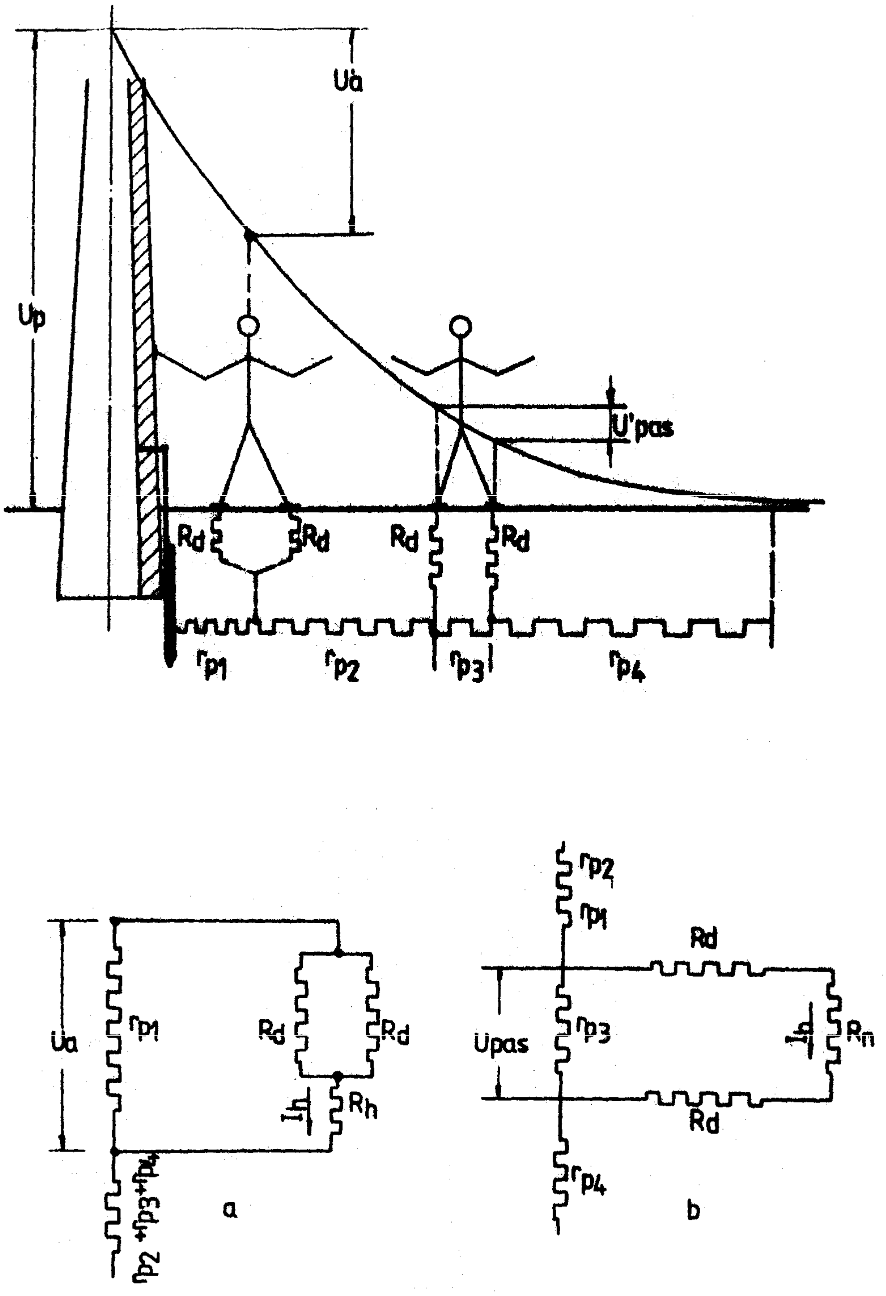



**Figura 3 - Schemele echivalente pentru determinarea tensiunilor de atingere şi de pas în funcție de rezistența $R_d$:**
**a) Tensiunea de atingere**
**b) Tensiunea de pas**

Exemplul 1: Incinta unei stații electrice cu folosirea permanentă de mijloace individuale de protecție $\rho$ = 100 Ωm; $t_b$ = 0,2 s; schema $T_1T$.

$I_p$ = 12000 A, $k_a$ = 0,06 şi $k_{pas}$ = 0,2 (în urma unor determinări prin calcul) în funcție de priza de dirijare a distribuției potențialelor (conform anexei 2 din prezentul îndreptar); conform tabelului 2.3.

$U_a = U_{pas} = 500$ V

$$R_p \le 500\frac{\frac{100}{2000}+1}{0{,}06\cdot 12000} = 0{,}73\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_p \le 500\frac{\frac{100}{500}+1}{0{,}2\cdot 12000} = 0{,}25\,\Omega$$

Exemplul 2: Idem ca la exemplul 1, însă $\rho$ = 1000 Ωm.

$$R_p \le 500\frac{\frac{1000}{2000}+1}{0{,}06\cdot 12000} = 1{,}04\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_p \le 500\frac{\frac{1000}{500}+1}{0{,}2\cdot 12000} = 0{,}625\,\Omega$$

Exemplul 3: Idem ca la exemplul 1, însă $\rho$ = 2000 Ωm.

$$R_p \le 500\frac{\frac{2000}{2000}+1}{0{,}06\cdot 12000} = 1{,}39\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_p \le 500\frac{\frac{2000}{500}+1}{0{,}2\cdot 12000} = 1{,}04\,\Omega$$

Exemplul 4: cazul în care nu se prevede folosirea permanentă a mijloacelor individuale de protecție izolante, restul datelor fiind ca în exemplele 1 ... 3 de mai sus.

Schema $T_1T$; $t_b$ = 0,2 s; $U_a = U_{pas} = 250$ V

Pentru $\rho$ = 100 Ωm $\quad R_p \le 250\frac{1{,}05}{720} = 0{,}365\,\Omega$ şi $R_p \le 250\frac{1{,}2}{2400} = 0{,}225\,\Omega$;

Pentru $\rho$ = 1000 Ωm $\quad R_p \le 250\frac{1{,}5}{720} = 0{,}521\,\Omega$ şi $R_p \le 250\frac{3}{2400} = 0{,}313\,\Omega$;

Pentru $\rho$ = 2000 Ωm $\quad R_p \le 250\frac{2}{720} = 0{,}695\,\Omega$ şi $R_p \le 250\frac{5}{2400} = 0{,}521\,\Omega$.

Indiferent de rezultatele calculelor trebuie îndeplinită condiția $R_p \le 1\Omega$ pentru a se putea folosi în comun instalația de legare la pământ şi pentru instalațiile de protecție împotriva descărcărilor atmosferice.

Deci, în cazurile în care din calcule rezultă $R_p > 1\Omega$ este necesar să se corecteze schema prizei de pământ în ansamblu şi respectiv de dirijare a distribuției potențialelor, astfel încât $R_p \le 1\Omega$. Aceasta înseamnă că se pot mări coeficienți de atingere sau de pas din cazurile respective, cu reducerea corespunzătoare a prizelor de dirijare (micşorarea numărului de electrozi paraleli prin creşterea distanțelor dintre aceştia).

4.1.2.10. Realizarea instalației de legare la pământ.

Principalele elemente componente ale unei instalații de legare la pământ sunt următoarele (conform STAS 8275-87):

- prizele de pământ naturale şi artificiale (dacă este cazul);
- conductoarele de legare la pământ (principale, de ramificație şi de legare la prizele de pământ).

De regulă priza de pământ artificială se va realiza în modul următor:

În incinta stației, pe un contur situat la cel puțin 1 m de îngrădire, se va realiza o centură alcătuită din electrozi verticali, distribuiți uniform pe contur şi legați între ei prin electrozi orizontali.

Electrozii verticali se vor confecționa, de regulă, din țeavă de oțel cu diametrul $\phi$ 2" - 2 1/2" şi cu o lungime l = 2 ... 3 m; aceştia au un rol important în micşorarea tensiunilor de pas la marginea prizei de pământ a stației.

Adâncimea de îngropare a electrozilor verticali trebuie să fie h ≥ 0,8 m, considerată de la capătul superior al electrodului până la suprafața solului. La aceeaşi rezistivitate, cu cât adâncimea de îngropare va fi mai mare, cu atât coeficienții de pas de la marginea prizei vor fi mai mici, iar rezistența de dispersie de trecere la pământ în general va scădea.

De regulă, distanța între electrozi a ≥ 2l. În condiții speciale această distanță se poate micşora dar ea nu poate fi mai mică decât a = l. Cu cât distanța "a" dintre electrozii prizei de pământ este mai mare cu atât coeficienții de ecranare vor fi mai mari, ceea ce determină la acelaşi număr de electrozi, o rezistența de dispersie rezultantă mai mică.

Electrozii orizontali (conductoarele de legătură dintre electrozii verticali) se vor executa din profile bandă sau rotund, a cărui secțiune se va determina conform anexei 5.

Adâncimea de îngropare a electrozilor va fi de preferință 0,8 - 1,0 m, avându-se în vedere faptul că prin mărirea adâncimii de îngropare rezistența prizei de pământ se micşorează şi este mai puțin influențată de condițiile atmosferice; de asemenea, se micşorează şi coeficienții de pas la marginea prizei.

Drept prize de pământ naturale şi legături la aceste prize, se vor folosi:

- armăturile metalice ale construcțiilor de beton armat, stâlpii, fundațiile cadrelor şi ale aparatelor etc.;
- construcțiile metalice permanente;
- conductele metalice de apă;
- învelişurile metalice ale cablurilor îngropate;
- țevile pentru forare.

Pentru determinarea rezistenței de dispersie a se vedea pct. A.1.5 ... A.1.8.

Se interzice luarea în considerare la dimensionarea instalației de legare la pământ, a următoarelor elemente:

- conductele prin care trec fluide combustibile;
- elementele care nu prezintă o secțiune suficient de mare;
- elementele care prin demontarea lor în timpul operațiilor de exploatare şi întreținere, ar putea întrerupe circuitul de protecție.

Aceste elemente se vor racorda însă la instalația de legare la pământ, în vederea egalizării potențialelor.

În cazul conductelor prin care trec fluide combustibile, locurile de întrerupere vor fi în prealabil şuntate.

Conductele metalice pentru apă îngropate în pământ, mantalele şi armăturile metalice ale cablurilor, țevile metalice de tubaje etc., vor fi folosite, de regulă, ca prize de pământ ajutătoare, în special pentru a contribui la dirijarea potențialelor.

Pentru folosirea construcțiilor de beton armat drept prize de pământ naturale, trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- se va realiza o legătură electrică (prin sudură) între barele verticale ale stâlpilor; această legătură se va executa cu o bară orizontală (etrier);
- se va realiza o legătură electrică între barele verticale ale stâlpilor (pilonilor) şi armăturile metalice ale fundațiilor;
- se va prevedea o piesă metalică aparentă de racordare legată la barele verticale, pentru executarea legăturilor cu conductoarele principale de legare la pământ.

Dacă barele verticale ale stâlpilor de susținere sunt în contact cu armăturile metalice ale elementelor pe care le susțin (grinzi, stelaje etc.), realizându-se astfel o priză multiplă, conductoarele principale de legare la pământ nu trebuie să se lege la toți stâlpii. Se vor lega însă la cel puțin doi stâlpi care fac parte din priza multiplă realizată.

Pentru folosirea armăturilor unei construcții de beton armat drept priză de pământ naturală, se va prevedea încă din faza de proiectare şi se va asigura prin execuție, continuitatea electrică a acestor armături, până la piesa de racordare menționată mai sus, fixată aparent în construcția respectivă şi accesibilă pentru racordarea conductoarelor de legare la pământ.

Această piesă de racordare va fi din profil bandă sau cornier având grosimea de cel puțin 3 mm şi lățimea de cel puțin 40 mm.

Piesa de legătură (de racordare) va fi marcată prin vopsire cu semnul de legare la pământ.

Secțiunea echivalentă minimă a armăturilor fiecărui element de beton armat sau metalic folosit drept priză naturală de pământ sau conductor de legare la pământ, trebuie să fie de 100 mm$^2$ oțel.

Toate elementele care constituie prize de pământ naturale se vor lega la rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ.

În stația exterioară, aceste conductoare sunt alcătuite din electrozii orizontali destinați dirijării distribuției potențialelor în conformitate cu pct.4.1.2.11 de mai jos.

4.1.2.11. Realizarea instalației de dirijare a potențialelor.

Pentru micşorarea tensiunilor de atingere şi de pas în incinta stației, instalația de dirijare a distribuției potențialelor se va realiza în interiorul conturului prizei artificiale.

Această instalație va cuprinde următoarele elemente:

- rețeaua electrozilor pentru dirijarea distribuției potențialelor, care are şi rolul unei rețele a conductoarelor principale de legare la pământ;
- prizele de pământ naturale şi celelalte elemente legate pentru egalizarea potențialelor în stație;
- conductoarele de ramificație pentru racordarea la conductoarele principale de legare la pământ.

În stația exterioară, electrozii orizontali pentru dirijarea potențialelor se vor dispune sub forma unor benzi paralele la o distanță de circa 0,6 m de echipamente şi vor trece prin zonele de deservire ale acestora.

Electrozii vor fi îngropați în stratul superficial al solului.

Aceşti electrozi fac parte din instalația de legare la pământ, constituind totodată şi rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ.

Rețeaua acestor electrozi se va lega deci la priza de pământ artificială şi va avea legături cu toate obiectele prin intermediul conductoarelor de ramificație (fig.4).

Prizele de pământ orizontale de dirijare a distribuției potențialelor se vor executa cu electrozi din oțel lat sau rotund, având secțiunile impuse prizelor de pământ (conform STAS 12604/5-90).

Electrozii destinați micşorării tensiunilor de atingere trebuie să aibă o adâncime de îngropare de cel mult 0,6 m.

Se va atrage atenția în proiect, să nu se depăşească această adâncime la construcție.

O micşorare mai accentuată a coeficienților de atingere în apropierea unor anumite obiecte se va obține prin îngroparea unor electrozi orizontali suplimentari la adâncimi variind între 0,1 m şi 0,4 m pe o distanță de 0,8 m (cel mult 1m) față de obiect.

Electrozii se vor dispune după un contur în formă de inel, pătrat, dreptunghi sau sub forma unor benzi paralele.

O micşorare mai accentuată a tensiunilor de pas la marginea prizei artificiale, se va obține prin electrozi suplimentari cu o adâncime de îngropare crescătoare până la cel mult 1,2 m .

Electrozii suplimentari se vor racorda, de asemene, la priza de pământ complexă a stației.

În jurul clădirilor aflate în incinta stației exterioare va fi prevăzută la o distanță de circa 0,8 m de fundație, un contur de electrozi legați cu restul instalației.

La acest contur se vor racorda conductoarele principale de legare la pământ din interiorul clădirii, precum şi armăturile metalice din stâlpii şi fundațiile de beton armat ale clădirii.

De regulă, îngrădirile care delimitează incinta unei stații nu vor fi racordate la instalația de legare la pământ.

În cazul în care se constată în afara incintei tensiuni de atingere care depăşesc valorile maxime admise, se vor executa prize suplimentare de dirijare a distribuției potențialelor.

Acestea vor fi legate numai cu îngrădirea (nu vor fi racordate cu instalația de legare la pământ din incintă).

Pentru legarea aparatelor electrice şi a elementelor de susținere (conform pct.1.1.5 a prezentului îndrumar) la conductoarele principale de legare la pământ, se vor folosi, de regulă, două conductoare de ramificație pentru fiecare aparat sau cadru ale căror secțiuni însumate să corespundă condițiilor de stabilitate termică. Aceste conductoare de ramificație se vor racorda la două benzi de dirijare în vederea reducerii coeficientului de atingere şi de pas.

Drept conductoare de ramificație (de coborâre de la aparate sau cadre) se pot folosi armăturile metalice sau corpul metalic al elementelor respective de susținere, asigurându-se continuitatea electrică necesară.

Se admite prevederea unor conductoare suplimentare de coborâre, numai pentru completarea secțiunii în vederea asigurării stabilității termice la scurtcircuit.

Dacă un aparat sau cadru are doi sau mai mulți stâlpi de susținere, pentru legarea la conductorul principal, sunt suficiente, numai două legături de ramificație dispuse la doi dintre stâlpii respectivi cu condiția ca armăturile metalice ale acestora să aibă o legătură electrică între ele.

În cazul în care în apropierea stației se află clădirea pentru locuința personalului de deservire, este necesar să se ia măsuri pentru evitarea transmiterii unor tensiuni periculoase în cazul unei puneri la pământ în stație, astfel:

a) cazul în care locuința se află în imediata apropiere; se realizează o priză de dirijare cu trei contururi în jurul clădirii racordate la priza de dirijare (respectiv, instalația de legare la pământ) a stației prin cel puțin două legături;

b) cazul în care locuința se află la o distanță mai mare de 5 m de gardul stației; este necesar ca alimentarea cu energie electrică a locuinței (la joasă tensiune) să se separe de instalațiile din stație fie folosind o altă sursă (rețea) de racordare, fie folosind un transformator de separare galvanică; în aceste cazuri se realizează la locuința personalului o priză de pământ pentru instalațiile electrice de joasă tensiune din clădirea respectivă respectându-se prevederile standardului STAS 12604/5-90.

4.1.2.12. Determinarea rezistenței de dispersie.

Priza de pământ artificială, legată în paralel cu prizele de pământ naturale şi cu prizele de pământ orizontale destinate dirijării distribuției potențialelor, formează o priză de pământ complexă.

La determinarea rezistenței de dispersie a unei prize de pământ complexe se vor avea în vedere rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ legate electric între ele cum sunt:

- $R_{pv}$ a prizelor de pământ artificiale verticale;
- $R_{po}$ a prizelor de pământ artificiale orizontale;
- $R_{pd}$ a prizelor de pământ pentru dirijarea distribuției potențialelor;
- $R_{pn}$ a prizelor naturale;
- $Rc_p$ a sistemelor constituite din conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene şi prizele de pământ ale stâlpilor legați la acestea;

Rezistențele de dispersie $R_{pv}$, $R_{po}$, $R_{pd}$ şi $R_{pn}$ se vor determina, luându-se în calcul coeficienții respectivi de utilizare.

Modul de calcul al rezistenței de dispersie este arătat în anexa 1.

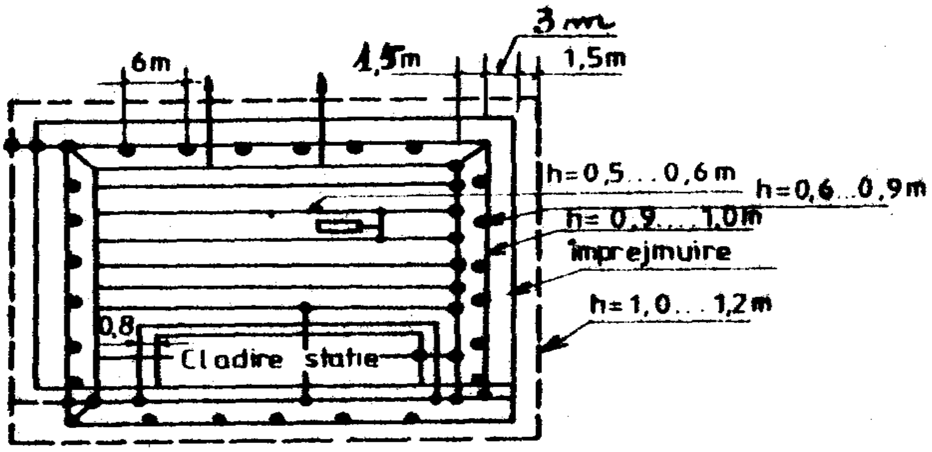
Pentru simplificarea calculelor, cu aproximarea admisibilă în cazul stațiilor exterioare, prizele de pământ orizontale destinate dirijării distribuției potențialelor, împreună cu diferitele prize naturale cu care sunt în contact electric (construcții de beton armat, conducte, învelişurile metalice ale cablurilor aflate în incinta respectivă), vor fi considerate o priză complexă, care se va asimila pentru calculul rezistenței de trecere la pământ cu o priză constituită dintr-o placă aşezată pe suprafața solului şi având dimensiunile suprafeței cuprinse în conturul exterior al electrozilor pentru dirijarea distribuției potențialelor.

La rețeaua electrozilor şi conductoarelor principale de legare la pământ, se vor racorda totdeauna conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene, care vin sau pleacă din stație.

Această legătură se va realiza fie prin prelungirea conductorului de protecție până la cadrul stației, fie prin prevederea a două conductoare îngropate la o adâncime de cel puțin 1,2 m care realizează legătura electrică între stâlpul din imediata vecinătate (legat la conductorul de protecție) şi rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ a stației. Conductoarele îngropate vor avea o secțiune echivalentă cu secțiunea conductorului de protecție, însă nu mai puțin de cea impusă conductoarelor de legare la pământ îngropate.

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ se va verifica prin măsurări, înainte de darea în funcțiune (conform STAS 12604/5-90); a se vedea anexa 9 din prezentul îndreptar, considerându-se componenta din circuitul de scurtcircuit monofazat care se închide efectiv prin prizele de pământ.

b)




c)

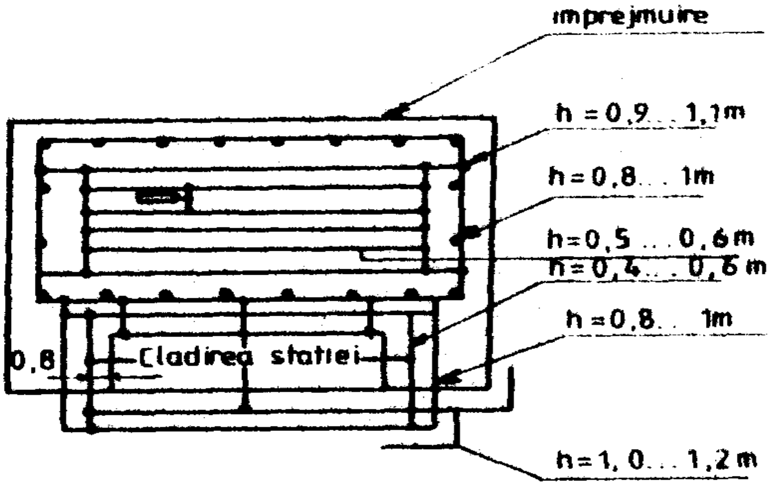
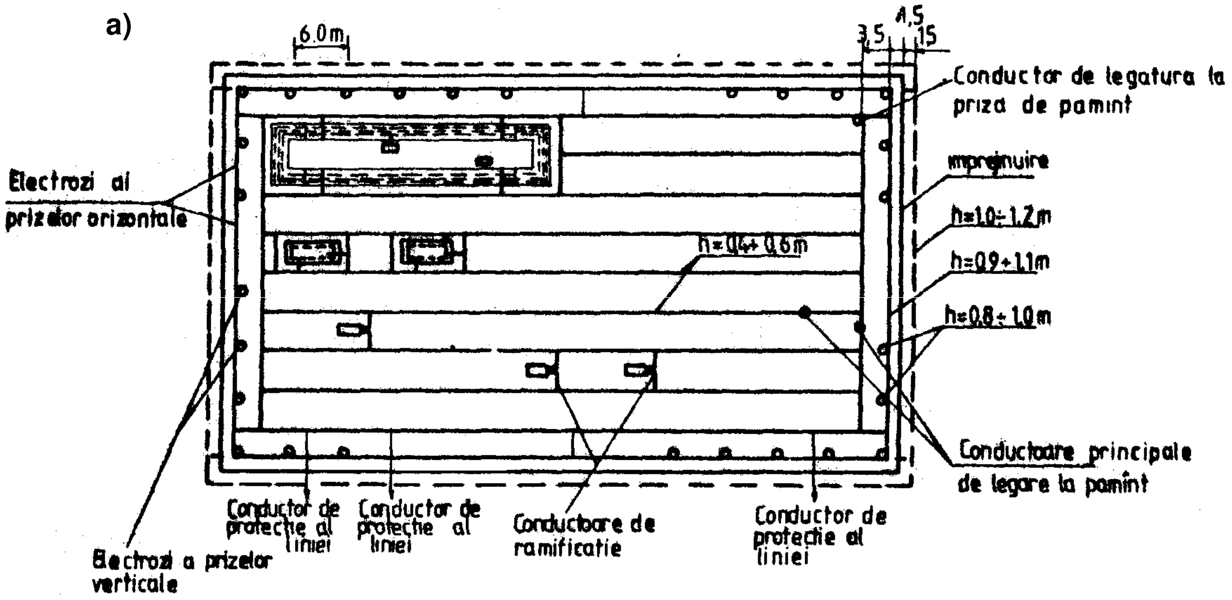



**Figura 4 - Exemple de realizare a instalației de legare la pământ pentru stații electrice exterioare:**
**a)- clădirea stației la interiorul incintei**
**b)- clădirea stației la marginea incintei**
**c)- clădirea stației la marginea incintei**

a)




4.1.2.13. <u>Stabilirea secțiunilor conductoarelor de legare la pământ şi verificarea la stabilitate termică</u>.

Stabilirea secțiunii conductoarelor de legare la pământ şi verificarea la stabilitate termică a instalației de legare la pământ se vor face în conformitate cu STAS 12604/4-89, precum şi cu indicațiile date în anexele 3 şi 5 din prezenta lucrare.

Pentru verificarea la stabilitate termică a prizelor de pământ, se va lua în calcul componenta din curentul de scurtcircuit monofazat care se închide efectiv prin electrozii prizei de pământ.

Pentru determinarea secțiunii conductoarelor de legare la pământ, se va lua în calcul valoarea curentului total de scurtcircuit monofazat în stație.

4.1.2.14. <u>Determinarea coeficienților de atingere şi de pas</u>

La dimensionarea prizelor de dirijare a distribuției potentialelor, se va avea în vedere că micşorarea coeficienților de atingere şi de pas depinde de următorii factori:

- numărul prizelor orizontale "n" şi distanța dintre acestea "a"; pe aceeaşi suprafață cu cât "n" este mai mare şi, deci, "a" devine mai mic, cu atât coeficienții de atingere şi de pas vor fi mai mici;
- adâncimea de îngropare "h" a electrozilor orizontali; cu cât "h" va fi mai mic, cu atât coeficienții de atingere vor fi mai mici; la marginea prizei, cu cât "h" este mai mare cu atât coeficienții de pas în afara prizei vor fi mai mici;
- rezistivitatea ρ a stratului superficial al solului în care se află electrozii prizei de dirijare a distribuției potențialelor; cu cât această rezistivitate este mai mică în raport cu cea a straturilor mai adânci, cu atât coeficienții de atingere şi de pas sunt mai mici şi invers (într-un sol omogen, coeficienții nu depind de rezistivitatea acestuia);
- întinderea prizelor de pământ; cu cât aceasta este mai mare, cu atât coeficienții de pas în afara zonei ocupate de priză sunt mai mici.

Pe suprafața ocupată de instalația de dirijare a distribuției potențialelor, coeficienții de pas vor fi, în general, mai mici decât coeficienții de atingere; coeficienții de pas pot fi mai mari decât coeficientul maxim de atingere de pe această suprafață la marginea şi în afara instalației de dirijare (dacă este necesar, micşorarea coeficienților de pas în această zonă se va obține prin adăugarea unor electrozi suplimentari).

Pentru calcularea coeficienților de atingere şi de pas se vor folosi indicațiile date în anexa 2.

Se vor verifica întotdeauna coeficienții de atingere şi de pas prin măsurări, înainte de darea în funcțiune a instalației de legare la pământ exterioare.

Dacă la măsurări se constată valorile care le depăşesc pe cele propuse, atunci se vor îmbunătății instalațiile de protecție prin adăugarea unor prize orizontale suplimentare sau se va executa o izolare a amplasamentelor prin acoperiri cu materiale de rezistivitate mare.

4.1.2.15. <u>Izolarea amplasamentelor</u>

Pentru a lua în calcul izolarea amplasamentelor, se vor respecta indicațiile din anexa 4.

### 4.1.3. Stații şi posturi de transformare interioare

4.1.3.1. Pentru respectarea limitelor maxime admise de STAS 2612-87 şi STAS 12604/4-89, cu privire la tensiunile de atingere şi de pas, se vor lua următoarele măsuri:

- se vor folosi prizele de pământ naturale;
- se va realiza o priză de pământ artificială, având în vedere indicațiile de la pct.4.1.2.;
- se va realiza egalizarea potentialelor în interiorul clădirii;
- se va realiza o instalație de dirijare a distribuției potențialelor în exteriorul clădirii;
- se va aplica izolarea amplasamentelor atât în interior, cât şi în exterior.

4.1.3.2. Se vor respecta indicațiile de la pct.4.1.2 (4.1.2.1 ... 4.1.2.9) privind mijloacele de respectare a tensiunilor de atingere şi de pas admise şi privind realizarea instalației de legare la pământ 4.1.2.10, cu precizările de mai jos.

4.1.3.3. Priza de pământ artificială şi instalația de dirijare a distribuției potențialelor în exteriorul clădiri se vor realiza în modul următor (fig.5):

În exteriorul clădirii, la o distanță de 0,3 m de fundație şi la adâncimea de 0,2 m - 0,3 m față de suprafața solului se va realiza un contur din oțel lat sau oțel rotund, în jurul clădirii, destinat micşorării tensiunii de atingere.

Un al doilea contur, destinat aceluiaşi scop, se va realiza în jurul clădirii la o distanță de 0,8 m de fundație şi la o adâncime de 0,4 - 0,6 m.

La o distanță de 1,5 - 2,0 m de fundația clădirii, se va realiza o priză verticală respectiv un contur din electrozii orizontali care leagă între ei electrozi verticali distribuiți uniform pe contur astfel electrozii verticali vor fi legați între ei prin electrozi orizontali.

Electrozii verticali se vor confecționa, de regulă, din țeavă de oțel, cu diametrul $\phi$ 2" - 2 1/2" şi cu o lungime l = 2 ... 3 m.

Ei se vor îngropa la o adâncime h = 0,8 - 1,0 m, considerată de la suprafața solului. Distanță dintre electrozii verticali, trebuie să fie a $\geq$ 2l. În condiții speciale se poate micşora această distanță, însă ea nu poate fi mai mică decât a = l.

Electrozii orizontali (conductoarele de legătură dintre electrozii verticali) se vor confecționa din oțel lat.

Adâncimea de îngropare a acestor electrozi va fi de 0,8 - 1,0 m şi vor fi sudați la capătul superior al electrozilor verticali.

La o distanță de 1,5 m de conturul prizelor verticale şi la o adâncime de 1 m se va realiza un ultim contur din oțel lat sau rotund, destinat micşorării tensiunii de pas.

Toate contururile indicate mai sus se vor lega între ele pe direcția diagonalelor şi pe patru direcții perpendiculare pe laturile acestor contururi.

4.1.3.4. În interiorul clădirii, de-a lungul pereților, se vor monta conductoarele principale de legare la pământ, care, de regulă, constituie circuite închise.

La aceste conductoare, prin ramificații separate, se vor lega toate elementele indicate la pct.1.1.5. prizele de pământ naturale, precum şi diferitele elemente metalice existente în vederea egalizării potențialelor. Se vor respecta indicațiile de la pct. 4.1.2.11.

Conductoarele principale se vor racorda la priza artificială de pământ prin cel puțin două legături separate.

4.1.3.5. Pentru determinarea rezistenței de dispersie se vor folosi indicațiile date la pct. 4.1.2.12, iar pentru verificările la stabilitate termică indicațiile de la pct. 4.1.2.13.

4.1.3.6. Coeficienții de pas se vor determina în conformitate cu indicațiile de la pct. 3.1.2.14 şi anexa 2.

4.1.3.7. Pentru micşorarea tensiunilor de atingere şi de pas în exteriorul clădirii respectiv pentru creşterea coeficienților de amplasament $\alpha_a$ şi $\alpha_{pas}$, se va realiza în jurul acesteia un trotuar din dale de beton sau din asfalt, având lățimea de cel puțin 1 m.

Pentru micşorarea tensiunii de atingere în interiorul clădirii în zonele de circulație şi de deservire vor fi prevăzute covoraşe electroizolante din cauciuc.

Pentru luarea în calcul a izolării amplasamentelor se vor utiliza indicațiile din anexa 4 şi cele menționate la pct. 4.1.2.5 şi 4.1.2.8.

**4.1.4. Instalații electrice în incinta (platforma) centralelor electrice, a întreprinderilor industriale şi agricole cu circulație frecventă sau a stațiilor electrice din localități.**

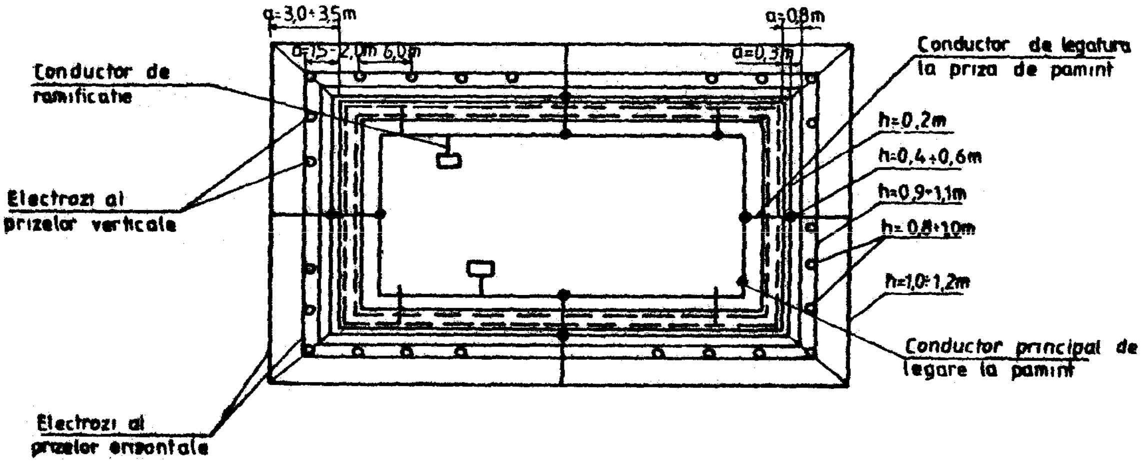



**Figura 5 - Exemplu de realizare a instalației de legare la pământ pentru o stație electrică interioară.**

4.1.4.1. La centralele electrice, întreprinderile industriale sau agricole cu circulație frecventă şi stațiile electrice urbane se vor distinge două categorii de zone din punct de vedere al frecvenței circulației:

- zonele cu circulație frecventă, categorie în care intră teritoriul pe care este situată centrala electrică sau întreprinderea industrială sau agricolă (cu excepția spațiilor din incintele instalațiilor electrice îngrădite, ca de exemplu ale stațiilor de transformare şi conexiuni); pentru zonele cu circulație frecventă, tensiunile de atingere şi de pas maxime admise vor fi cele din STAS 2612/87 (12604/2-87) şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă; conform pct.1.3, prin incintă agricolă cu circulație frecventă se înțelege incinta îngrădită şi supravegheată în care se desfăşoară procesele tehnologice de prelucrare şi depozitare în amenajări speciale a produselor agricole, fermele zootehnice şi stațiile de maşini agricole;
- zonele cu circulație redusă, categorie care cuprinde incintele instalațiile electrice îngrădite, cum sunt stațiile de transformare şi conexiuni; pentru aceste zone tensiunile de atingere şi de pas maxime vor fi cele din STAS 2612-87 (12604/2-87) şi tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație redusă fără, respectiv cu folosirea mijloacelor individuale de protecție izolante.

4.1.4.2. Pentru respectarea limitelor maxime admise pentru tensiunile de atingere şi de pas, se vor lua următoarele măsuri:

- în incinta stațiilor de transformare - se vor respecta indicațiile date pentru stațiile de conexiuni şi transformare de la pct.4.1.2 şi 4.1.3 de mai sus.

Pentru echipamentele electrice aflate în afara îngrădirii stației de transformare se va folosi în comun instalația de legare la pământ a acesteia, dată fiind prezența a numeroase conducte, cabluri, construcții metalice şi din beton armat şi alte elemente metalice de pe platforma centralei electrice sau al întreprinderii industriale (agricole), care fac practic imposibilă realizarea unor instalații de legare la pământ separate. Regula generală este să se realizeze totdeauna o rețea generală de legare la pământ.

Toate elementele metalice vor fi legate între ele, cât şi la priza de pământ a stației, în scopul egalizării potențialelor.

Pentru conductele, cablurilor, şinele de cale ferată etc, care ies de pe platforma centralei electrice sau a întreprinderi industriale (agricole), se vor lua măsuri de protecție împotriva transmiterii tensiunilor periculoase în afara incintei (platformei).

4.1.4.3. În incinta oricărei centrale electrice, întreprinderi agricole sau industriale şi pe teritoriul oricărei platforme industriale trebuie să se realizeze totdeauna o rețea generală de legare la pământ de protecție prin legarea între ele a tuturor instalațiilor de legare la pământ din incinta sau

de pe platforma respectivă, inclusiv a celor aferente instalaţiilor de legare la pământ de protecţie folosite în comun.

Pentru defectele de pe partea de înaltă tensiune, atât pentru echipamentele de joasă tensiune, cât şi pentru cele de înaltă tensiune, vor fi respectate valorile tensiunilor de atingere şi de pas pentru zonele cu circulaţie frecventă conform STAS 2612-87 (12604/2-87) şi tabelul 2.3, în funcţie de timpul de deconectare a curentului de punere la pământ prin priză şi de categoria reţelei.

Fac excepţie zonele cu circulaţie redusă din incintele îngrădite ale instalaţiilor electrice unde are acces numai personalul de specialitate şi pentru care vor fi respectate valorile indicate în STAS 2612-87 şi tabelul 2.3 pentru zonele cu circulaţie redusă fără, respectiv cu folosirea mijloacelor individuale de protecţie.

4.1.4.4. În cazul în care o reţea de joasă tensiune alimentează consumatorii aflaţi în afara limitelor instalaţiei de legare la pământ de protecţie destinată echipementelor de înaltă tensiune, la folosirea în comun a prizei de pământ şi pentru reţeaua de joasă tensiune, trebuie să se respecte condiţiile din STAS 12604/5-90 şi precizările de la pct.2.1.1.1. “a” şi “b” din această lucrare, dacă pentru partea de joasă tensiune se aplică protecţia prin legare la nul.

Dacă nu se pot respecta aceste condiţii, este necesar ca instalaţia de legare la pământ pentru partea de înaltă tensiune să fie separată de instalaţia de legare la pământ de protecţie pentru partea de joasă tensiune, conform STAS 12604/5-90.

4.1.4.5. Pentru conductoarele de legătură între instalaţiile de legare la pământ va fi verificată stabilitatea termică a acestora la solicitările de scurtcircuit la care pot fi supuse.

4.1.4.6. În vederea realizării instalaţiei de legare la pământ, a obţinerii tensiunilor de atingere şi de pas sub valorile limită admise şi a verificărilor la stabilitate termică, se vor respecta indicaţiile date la pct.4.1.2 şi 4.1.3. de mai sus, cu următoarele precizări pentru cazul folosirii în comun a instalaţiei de legare la pământ:

- rezistenţa de dispersie rezultantă $R_p$ trebuie să fie cel mult egală cu valoarea rezultată din condiţia:

$$R_p \leq \frac{U_a \cdot \alpha}{r_k \cdot r_e \cdot r_i \cdot r_c \cdot I_{def}}$$

unde:

$U_a$ este tensiunea de atingere maximă admisă în funcţie de timpul protecţiei de bază din tabelul 2; pentru zonele cu circulaţie frecventă se consideră totdeauna $k_a = k_{pas} = 1$;

$r_k$ - factorul de aşteptare care are valorile:
- $r_k$ = 0,85 dacă reţeaua electrică este în cabluri subterane;
- $r_k$ = 1 dacă reţeaua electrică este aeriană;

$r_e$ - coeficientul de echipotenţiere al incintei (platformei); dacă nu se dispune de valori determinate prin măsurări se vor considera următoarele valori de calcul:
- $r_e$ = 0,6 dacă instalaţia de legare la pământ constituie o reţea buclată (circuite închise) iar distanţa între prizele de pământ ale obiectelor din incintă (de pe platformă) este mai mică de 300 m;
- $r_e$ = 0,8 idem, dar distanţa dintre prizele de pământ din incintă (de pe platformă) este mai mare de 300 m;
- $r_e$ = 0,8 dacă instalaţia de legare la pământ constituie o reţea ramificată, iar distanţa dintre prizele de pământ ale obiectelor din incintă (de pe platformă) este mai mică de 300 m;
- $r_e$ = 1 idem, dar distanţa dintre prizele de pământ din incintă (de pe platformă) este mai mare de 300 m;

- $r_i$ - factorul de reducere datorită învelişurilor metalice ale cablurilor de î.t.; în calcule se vor considera următoarele valori, dacă nu se dispune de alte valori indicate de furnizorii cablurilor:
  - $r_i$ = 0,4 în cazul cablurilor de î.t. armate şi cu învelişuri metalice (plumb, aluminiu);
  - $r_i$ = 0,85 în cazul cablurilor de î.t. cu învelişuri exterioare din mase plastice cu ecrane din benzi sau sârme de cupru, iar reţeaua cablurilor de î.t. este buclată;

- $r_i$ = 1 în cazul cablurilor cu învelişuri exterioare din mase plastice şi numai cu ecrane din benzi sau sârme din cupru, iar rețeaua cablurilor de î.t. este ramificată;

- $r_c$ - coeficientul de reducere a conductoarelor de compensare care însoțesc cablurile de î.t.:
  - $r_c = 0{,}7$ dacă $R_p > 1\ \Omega$;
  - $r_c = 0{,}8$ dacă $R_p \leq 1\ \Omega$;
  - $r_c = 1$ dacă nu se prevăd conductoare de compensare.
- $\alpha$ - coeficientul de amplasament; se determină în funcție de materialul folosit pentru izolare; dacă izolarea amplasamentului nu se poate aplica la toate receptoarele de î.t. şi la toate echipamentele de j.t., se consideră $\alpha = 1$.
- $I_{def}$ - curentul de scurtcircuit monofazat de calcul.

În cazul instalațiilor de legare la pământ din rețelele cu schema $T_2T$ (legate la pământ prin rezistență) se vor avea în vedere şi prevederile îndreptarului 1.RE-$I_p$ 35/2-1992.

4.1.4.7. În general, pentru determinarea tensiunilor de atingere şi de pas la obiectele racordate la o instalație de legare la pământ de rezistență $R_{pm}$ cu care priza de pământ $R_p$ a instalației (stației) electrice cu defect are legătură conductivă, relația de calcul este:

$$\frac{k_{am} I_{pm} R_{pm}}{\alpha_{am}} \leq U_a \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas\,m} I_{pm} R_{pm}}{\alpha_{pas\,m}} \leq U_{pas}$$

unde indicele "m" marchează parametrii instalației de legare la pământ de rezistență $R_{pm}$ cu care priza stației de rezistență $R_p$ are legătură conductivă.

Curentul $I_{pm}$ se determină cu relația următoare:

$$I_{pm} = I_p \frac{R_p}{R_p + R_{pm} + Z_{mo}}$$

unde:

$I_p$ este curentul total de punere la pământ şi reprezintă suma curenților de punere la pământ prin priza instalației de rezistență $R_p$ şi $I_{pm}$ prin legătura conductivă cu priza de rezistență $R_{pm}$; curentul $I_p$ se obține din curentul total de scurtcircuit monofazat care trece prin rețeaua generală de legare la pământ, şi reprezintă curentul efectiv prin priza de pământ complexă.

$Z_{mo}$ - impedanța homopolară de calcul a legăturii conductive cu priza de rezistență $R_{pm}$.

Condițiile de calcul devin astfel:

$$\frac{k_{am}}{\alpha_{am}} R_{pm} I_p \frac{R_p}{R_{pm} + R_p + Z_{mo}} \leq U_a \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas\,m}}{\alpha_{pas\,m}} R_{pm} I_p \frac{R_p}{R_{pm} + R_p + Z_{mo}} \leq U_{pas}$$

sau:

$$\frac{k_{am}}{\alpha_{am}} \cdot \frac{R_p \cdot I_p}{1 + \frac{R_p + Z_{mo}}{R_{pm}}} \leq U_a \quad \text{şi} \quad \frac{k_{pas\,m}}{\alpha_{pas\,m}} \cdot \frac{R_p \cdot I_p}{1 + \frac{R_p + Z_{mo}}{R_{pm}}} \leq U_{pas}$$

În cazul în care priza de pământ a unei instalații electrice de înaltă tensiune, de exemplu a unei stații electrice, are legături conductive cu alte prize de pământ ale unor instalații electrice de la consumatorii de joasă tensiune, este necesar să se determine tensiunile de atingere la aceşti consumatori în cazul unui defect în instalația de înaltă tensiune.

Relația de calcul este:

$$U_a = r_e \cdot r_k \cdot R_{pn} \cdot I_{pn}$$

unde:

$R_{pn}$ este rezistența de dispersie a sistemului constituit din rețeaua de nul de la consumatorii de j.t. şi toate prizele de pământ cu care această rețea are legături conductive permanente;

$I_{pn}$ - componenta din curentul total de punere la pământ $I_p$ care se închide prin sistemul de rezistență $R_{pn}$:

$$I_{pn} = I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

în care:

$R_{ps}$ este rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ din instalația electrică de înaltă tensiune (de exemplu, o stație electrică “s”);

$Z_0$ - impedanța homopolară echivalentă de calcul a legăturilor dintre sistemul de rezistență $R_{pn}$ şi instalația de legare la pământ de rezistență $R_{ps}$.

Dacă rețeaua de joasă tensiune este în cablu, iar rețeaua conductoarelor de nul este buclată, rezultă $r_k$ = 0,85 şi $r_e$ = 0,8 şi, deci:

$$U_a = 0{,}68\, R_{pn} I_{pn}$$

unde, conform celor arătate mai sus:

$$I_{pn} = I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

$I_p$ fiind suma curenților de punere la pământ prin priza stației de rezistență $R_{ps}$ şi prin legăturile conductive cu sistemul de rezistență $R_{pn}$.

Acest curent $I_p$ se obține din curentul total de punere la pământ prin rețeaua generală de rezistență $R_p$ din care se scad toți ceilalți curenți care se închid prin legăturile constructive cu alte prize de rezistență $R_{p1\ ...\ m}$.

Expresia tensiunii de atingere devine:

$$U_a = 0{,}68 \cdot R_{pn} \cdot I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

<u>Exemplul 1</u>: $R_{pn}$ = 0,1; $R_{ps}$ = 0,2

$I_p$ = 5000 A şi $Z_0$ = 1,2

În acest exemplu rezultă:

$$U_a = 0{,}68 \cdot 0{,}1 \times 5000 \cdot \frac{0{,}2}{0{,}1 + 0{,}2 + 1{,}2}$$

$U_a = \frac{68}{1{,}5} = 46\,V$ sub valoarea maxim admisă de 65 V dacă timpul de declanşare la defectul pe partea de 110 kV din stație este de 0,8 ... 3 s.

Dacă se consideră o legătură conductivă echivalentă având o impedanță homopolară $Z_0$ = 0,75 Ω de exemplu prin adăugarea unor conductoare scurtcircuitate la capete în cazul unui cablu scos de sub tensiune, curentul prin sistemul de rezistență $R_{pn}$ este:

$$I_{pn} = 5000 \frac{0{,}2}{1{,}05} \cong 1000 \text{ A.}$$

<u>Exemplul 2</u>:

Datele din exemplul 1, cu deosebirea că timpul protecției este de 0,2 s, iar pentru care tensiunea de atingere admisibilă este 125 V.

În acest caz rezultă posibilă reducerea impedanței $Z_0$ la valoarea rezultată din următoarea relație:

$\frac{0{,}68 \cdot 0{,}1 \times 5000 \times 0{,}2}{0{,}1 + 0{,}2 + Z_0} \le 125\,V$, de unde rezultă necesar obținerea unei valori $Z_0$ = 0,24 Ω, de exemplu prin adăugarea unor conductoare suplimentare de compensare, pentru a nu se depăşi tensiunea admisă de 125 V.

Pentru determinarea valorii lui $Z_0$ minimă admisă (ținând seama şi de scurtcircuitarea şi legarea la pământ a conductoarelor unui cablu scos de sub tensiune) se poate folosi relația:

$$0{,}68\, R_{pn} I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_a} \le U_a$$

sau condiția:

$$Z_0 \ge \frac{0{,}68 I_p}{U_a} R_{pn} R_{ps} - \left(R_{pn} + R_{ps}\right)$$

#### 4.1.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene

##### 4.1.5.1. Prevederi generale

La stâlpii LEA prizele de pământ se dimensionează ținând seama de valori normate ale tensiunilor de atingere şi de pas conform celor indicate în cap.2 al prezentului îndreptar care sunt în conformitate cu STAS 2612-87, STAS 12604/4-89 şi 12604/5-90 cu condițiile de dimensionare din subcap.1.1. şi cap.2.

Coeficienții de atingere şi de pas $k_a$ şi $k_{pas}$ corespunzători prizei de pământ locale de la stâlp şi cei de amplasament $\alpha_a$ , $\alpha_{pas}$ şi $\beta$ constituie practic parametrii principali, care trebuie folosiți pentru atenuarea valorilor $U_a$ şi $U_{pas}$ sub limitele maxime admise. Coeficienții de atingere şi de pas ($k_a$ şi $k_{pas}$) ai unui anumit tip de priză de pământ depind numai de dimensiunile şi forma prizei respective.

După determinarea rezistenței de dispersie maximă admisă din considerentele arătate mai sus trebuie să se verifice şi condiția de declanşare a sistemului de protecție prevăzut;

$$I_{def} \geq 2 \cdot I_r$$

unde: $I_r$ este curentul minim de funcționare a protecției.

Pentru stâlpi, priza de pământ cu care se pot obține coeficienții de atingere şi de pas doriți cu costuri cât mai mici, este cea orizontală, cu electrozi inelari sau în formă de pătrat, cu patru raze şi, eventual, cu electrozi verticali la extremități; a se vedea prizele de pământ de dirijare a distribuției potențialelor pentru stâlpii LEA din STAS 12604/5-90 şi fig.6 ... 10 din prezentul îndreptar. Se impune o astfel de priză cu electrozi de dirijare datorită simetriei ei, necesară pentru asigurarea coeficienților de atingere şi de pas doriți în toate punctele din jurul stâlpului. Alegerea uneia din tipurile de prize din fig. 6 ... 10 se va face în funcție de condițiile specifice care sunt în principal determinate de următorii factori:

a) rezistivitatea solului $\rho$, de care depinde rezistența de dispersie a prizei de la stâlp, $R_{ps}$;

b) valoarea limită a tensiunilor de atingere şi de pas care trebuie respectată conform STAS 2612-87 şi STAS 12604/5-90;

c) curentul efectiv de calcul de punere la pământ $I_p$ prin priza de pământ respectivă;

d) posibilitatea de realizare a unui anumit tip de priză de dirijare pe terenul disponibil pentru aceasta;

e) posibilitate realizării unei izolări a amplasamentului în jurul stâlpului pe o distanță de cel puțin 0,8 m, prin acoperire cu piatră spartă, dale de beton sau asfalt etc.

Se poate aplica una din următoarele variante:

I) adăugarea la priza naturală a stâlpului a unor electrozi, orizontali şi verticali, la stâlpul la care trebuie micşorată rezistența de dispersie pentru satisfacerea condițiilor de obținere a unor tensiuni de atingere şi de pas sub limitele admise; rezistența de dispersie rezultantă $R_{ps}$ se va determina cu relația:

$$R_{pa} = \frac{R_{pn} \cdot R_{pa}}{R_{pn} + R_{pa}}$$

unde $R_{pn}$ este cea a prizei naturale, iar $R_{pa}$ este rezistența prizei adăugate, considerându-se coeficientul de utilizare corespunzător fiecărie prize în parte.

II) legarea între ele a două sau a mai multor prize de la doi sau mai mulți stâlpi învecinați cu un conductor neizolat îngropat în pământ; acest conductor constituie şi o priză de pământ orizontală de o rezistență de dispersie $r_{po}$ care poate să contribuie apreciabil la reducerea rezistenței de dispersie rezultante $R_{ps}$; adâncimea de îngropare a conductorului de legătură va fi totdeauna mai mare de 0,5 m; prevederea unui astfel de conductor pentru legarea între ele a tuturor prizelor din LEA respectivă şi la priza stației, conduce practic la realizarea unui conductor cu rol şi de compensare practic cu $r_c$ = 0,7 (a se vedea şi cele indicare în varianta a III-a);

III) legarea între ele a două sau a mai multor prize de la doi sau mai mulți stâlpi învecinați cu un conductor montat pe stâlpi, de regulă neizolat, racordat la prizele de pământ ale stâlpilor (naturale şi artificiale) prin intermediul armăturilor metalice din stâlpi folosite drept conductoare de coborâre; un astfel de conductor dacă se montează pe toți stâlpii LEA de î.t de la stația de alimentare şi până la postul de transformare şi este legat la instalațiile de legare la pământ de la stație şi post, va constitui un conductor de compensare cu toate avantajele unui astfel de

conductor. Conductorul de compensare se va aplica în cazuri justificate, când nu se poate aplica practic o altă soluție de obținere a tensiunilor de atingere şi de pas sub limitele admise.

#### 4.1.5.2. Stâlpii LEA fără aparataj

La stâlpii LEA fără aparataj, prizele de pământ se dimensionează ținând seama de valorile normate ale tensiunilor de atingere şi de pas, numai în zonele cu circulație frecventă din localități şi la stâlpii LEA din incintele industriale şi agricole cu circulație frecventă.

Pentru stâlpii LEA fără aparataj din afara localităților sau din zonele cu circulație redusă din localități, prizele de pământ nu se dimensionează, din considerente de protecție împotriva tensiunilor de atingere şi de pas; această prevedere este valabilă şi pentru zonele (incintele) agricole, grădinile cu legume, livezile cu pomi, viile etc. cu circulație redusă. Conform pct.1.3 din prezentul îndreptar, zonă (incintă) agricolă cu circulație redusă este zona neîngrădită sau incinta neîngrădită, care nu intră în categoria incintelor cu circulație frecventă cum sunt culturile mari.

La stâlpii LEA fără aparataj din zonele cu circulație frecventă din localități, condițiile de determinare a rezistenței de dispersie a prizei de pământ $R_{ps}$, la care se leagă un stâlp sau mai mulți stâlpi este:

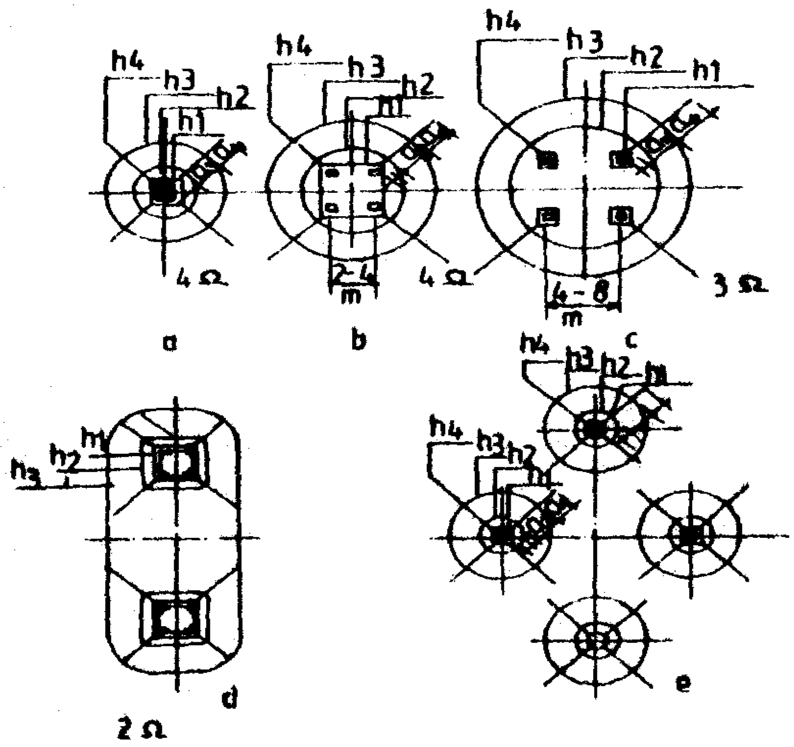



**Figura 6 - Tip constructiv de priză pentru linii de înaltă tensiune din zonele cu circulație frecventă din localități:**
**a)- pentru stâlpi din beton armat; b)- pentru stâlpi metalici tip turn;**
**c)- pentru stâlpi metalici tip turn;d)- pentru stâlpi metalici tip portal;**
**e)- pentru stâlpi metalici tip portal ancorat.**

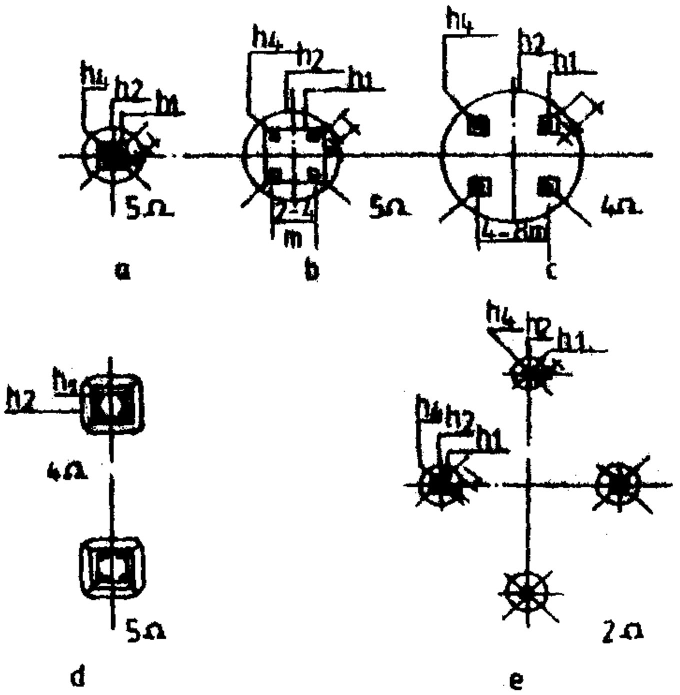
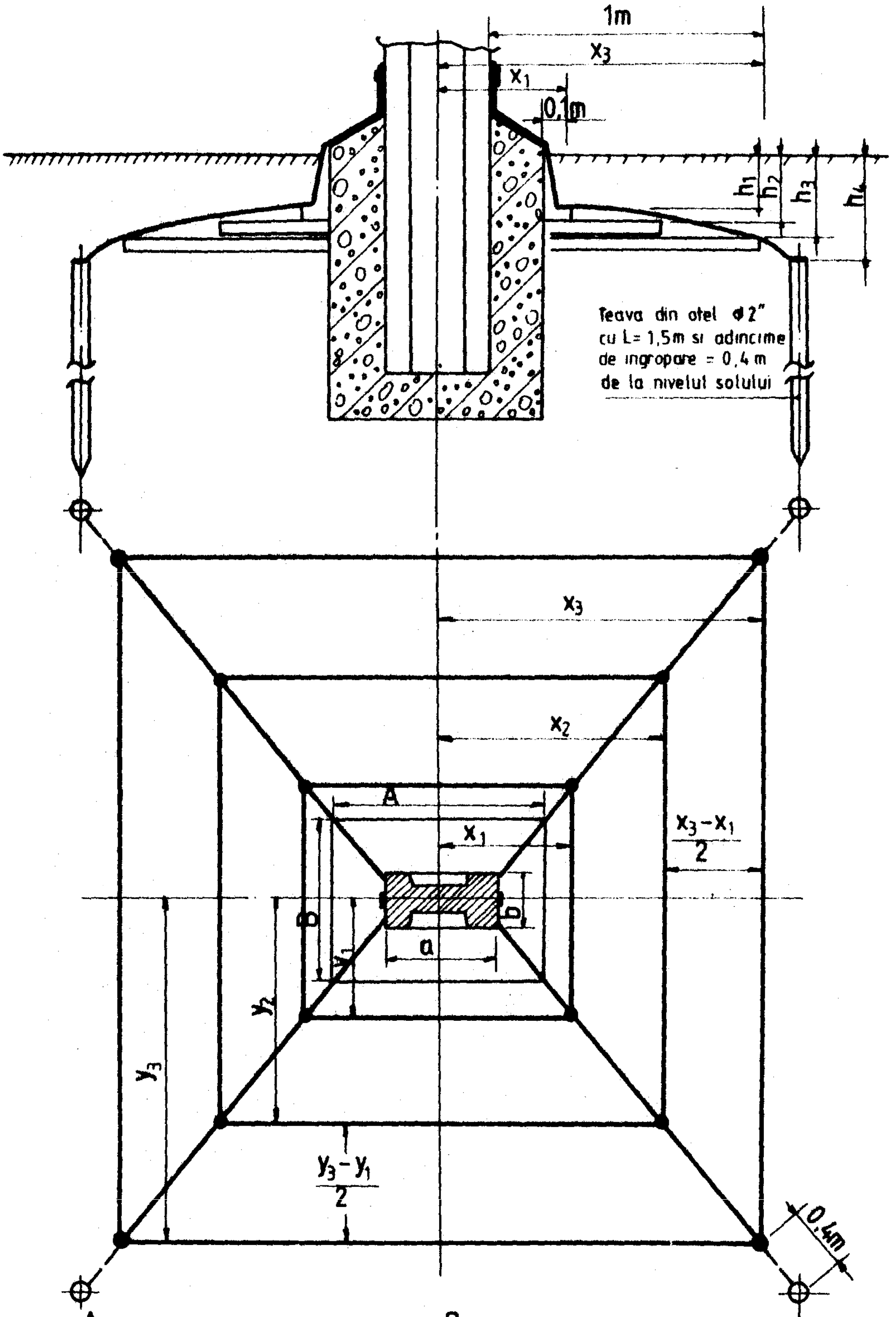



**Figura 7 - Tip constructiv de priză pentru linii de înaltă tensiune din zonele cu circulație redusă:**
**a)- pentru stâlpi din beton armat; b)- pentru stâlpi metalici tip turn;**
**c)- pentru stâlpi metalici tip turn;d)- pentru stâlpi metalici tip portal;**
**e)- pentru stâlpi metalici tip portal ancorat.**



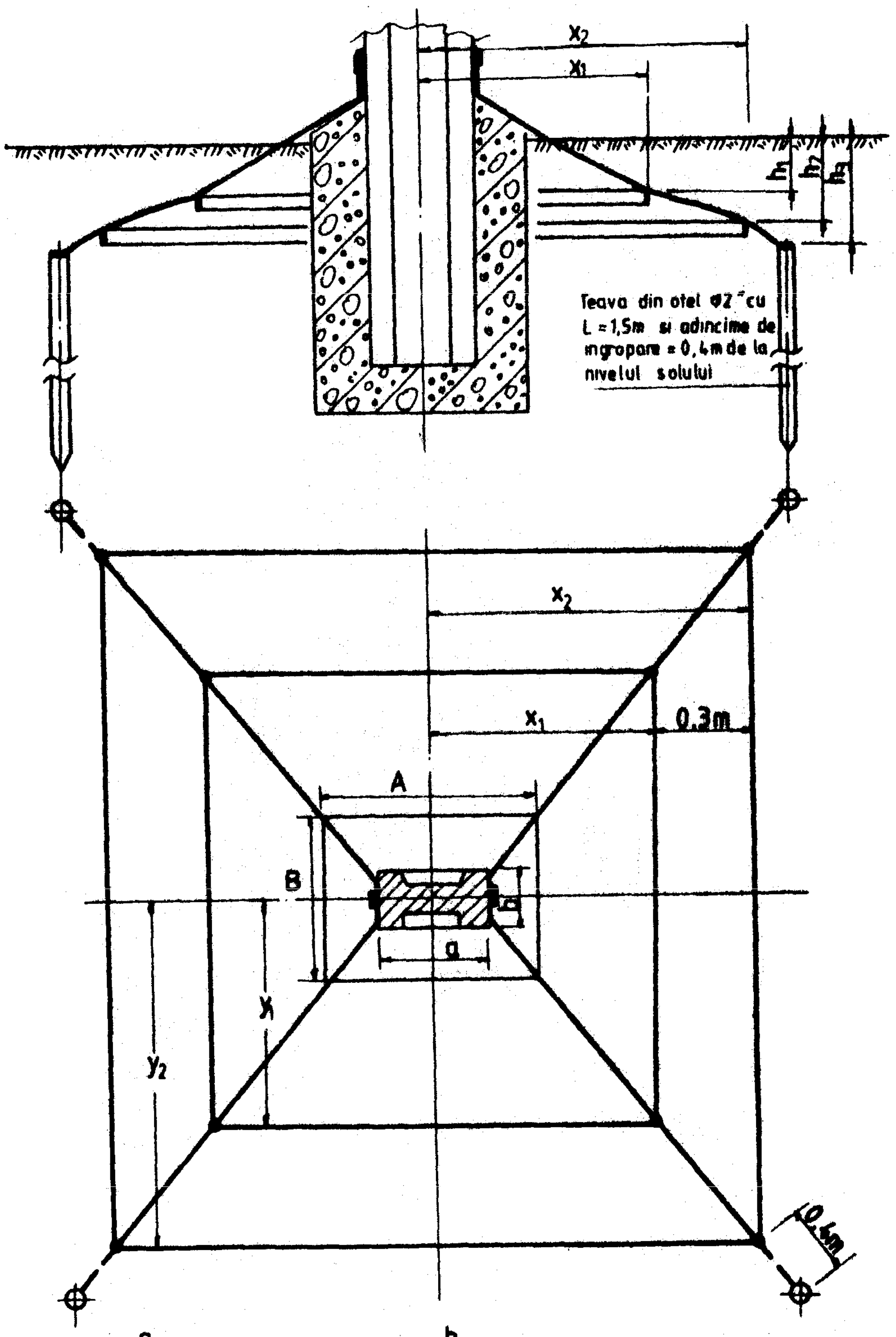

$x_1 = \frac{A}{2} + 0{,}1m$ $\qquad y_1 = \frac{B}{2} + 0{,}15m$ $\qquad h_1 = 0{,}2\,m$

$x_2 = \frac{A+a}{4} + \frac{1{,}1}{2}m$ $\qquad y_2 = \frac{B+b}{4} + \frac{1{,}15}{2}m$ $\qquad h_2 = 0{,}25m$

$x_3 = \frac{a}{2} + 1m$ $\qquad y_3 = \frac{b}{2} + 1m$ $\qquad h_3 = 0{,}3m$

$h_4 = 0{,}4m$

**Figura 8**




$x_1 = \frac{a}{2} + 0,6m$ $y_1 = \frac{b}{2} + 0,6m$ $h = 0,2m$

$x_2 = \frac{a}{2} + 0,9m$ $y_2 = \frac{b}{2} + 0,9m$ $h = 0,3m$

$h = 0,4m$

Figura 9

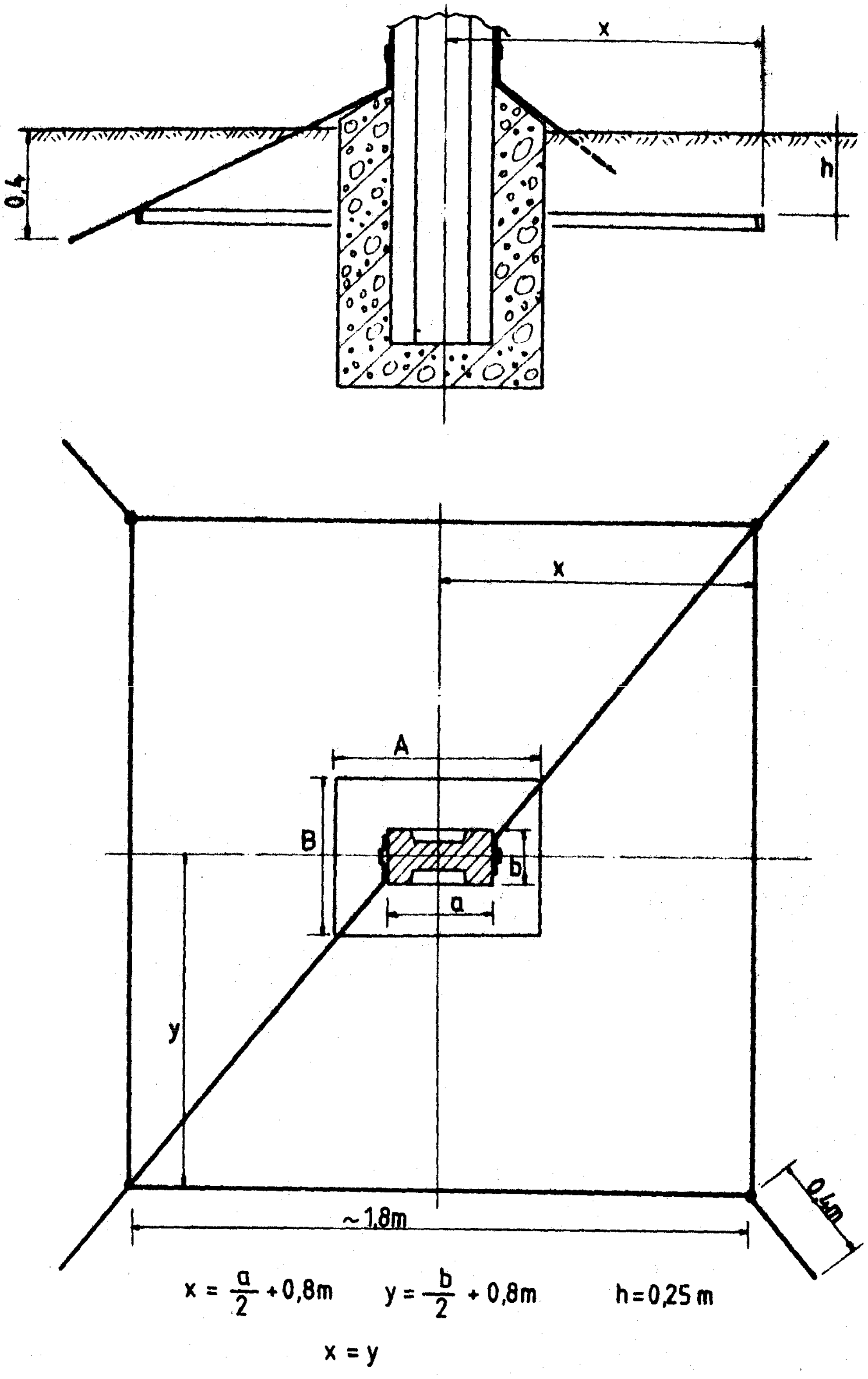



Figura 10

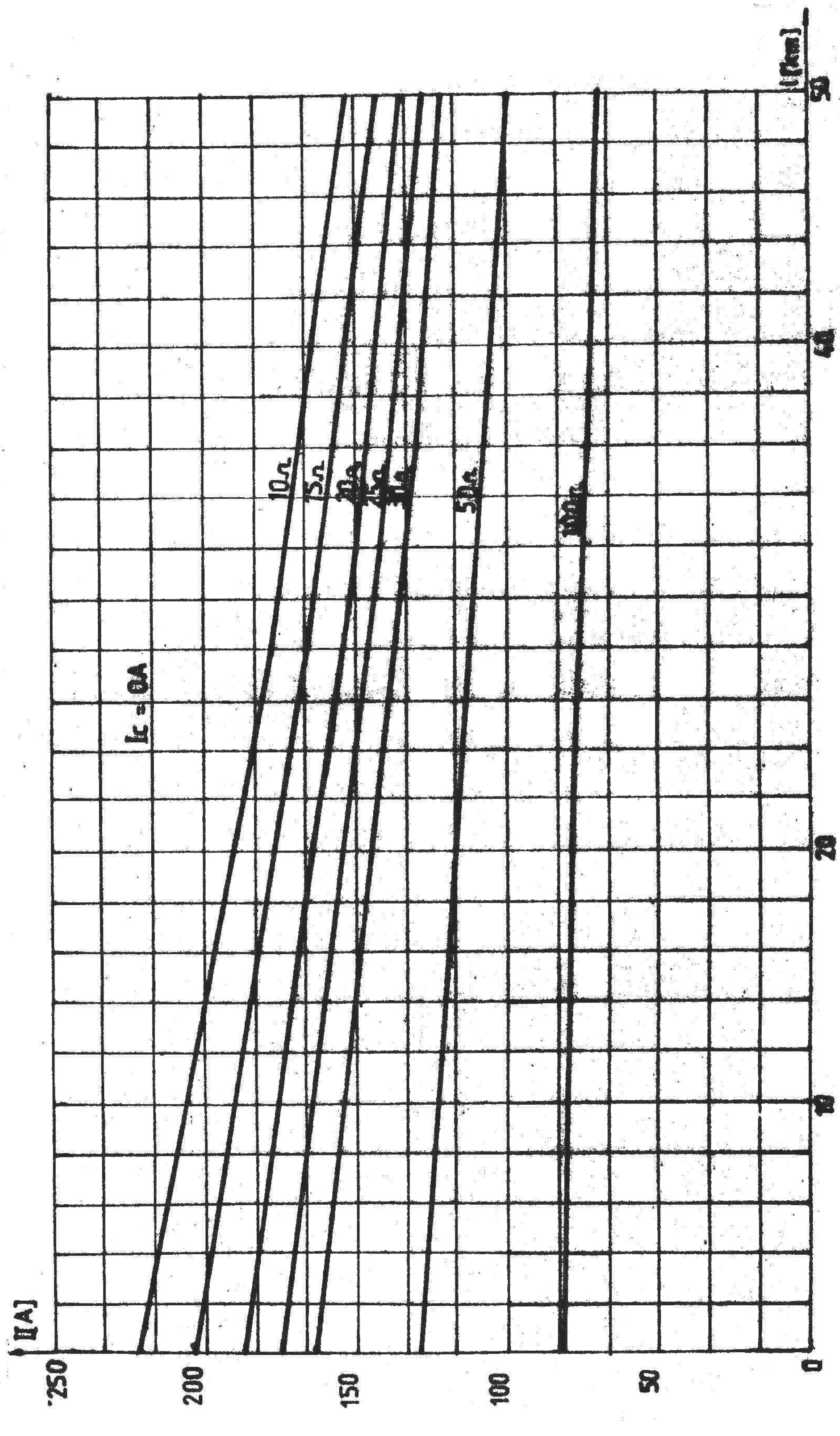



**Figura 11**

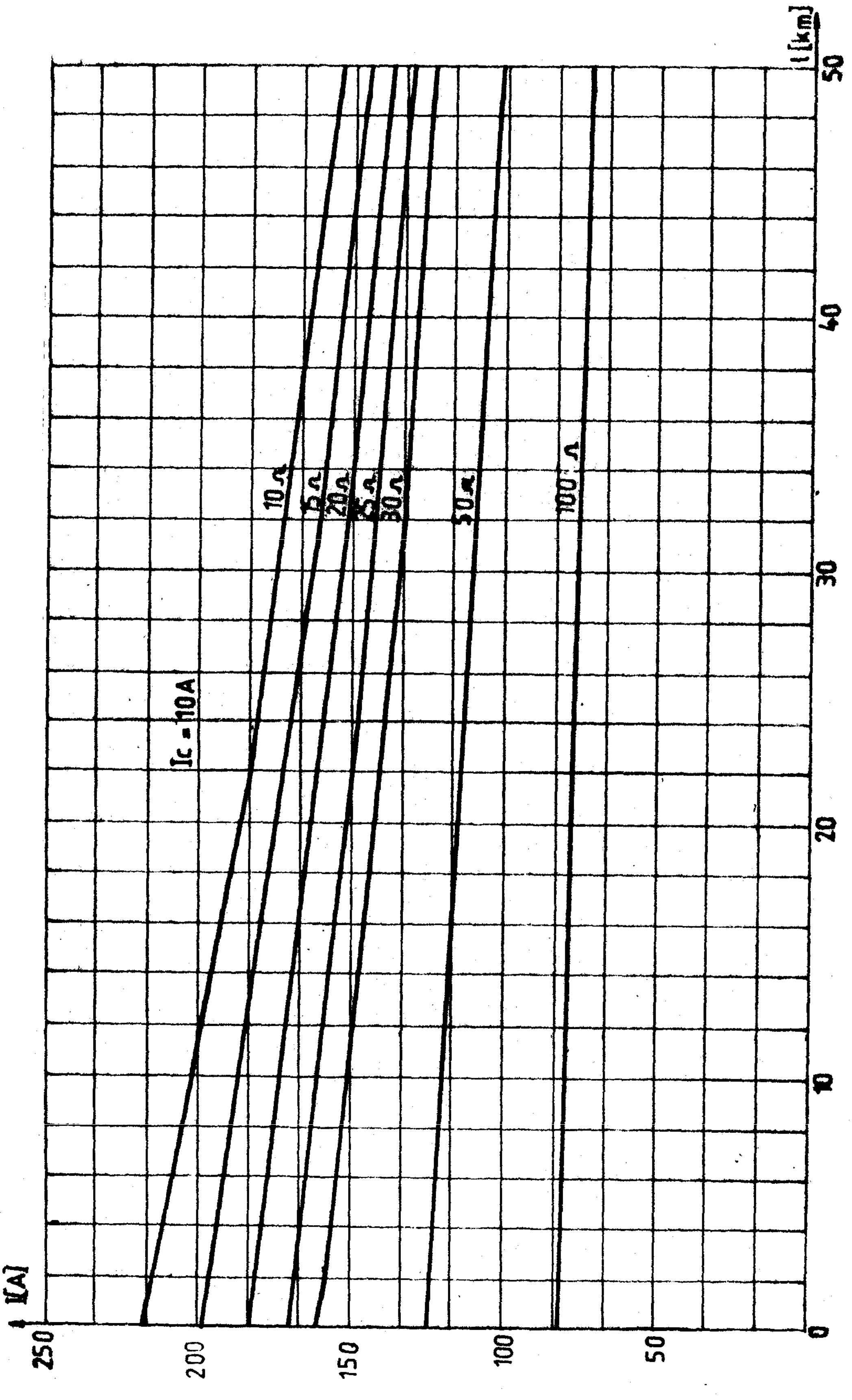

I[A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
l [km]
Ic = 110A
10 Ω
15 Ω
20 Ω
25 Ω
30 Ω
50 Ω
100 Ω

Figura 12

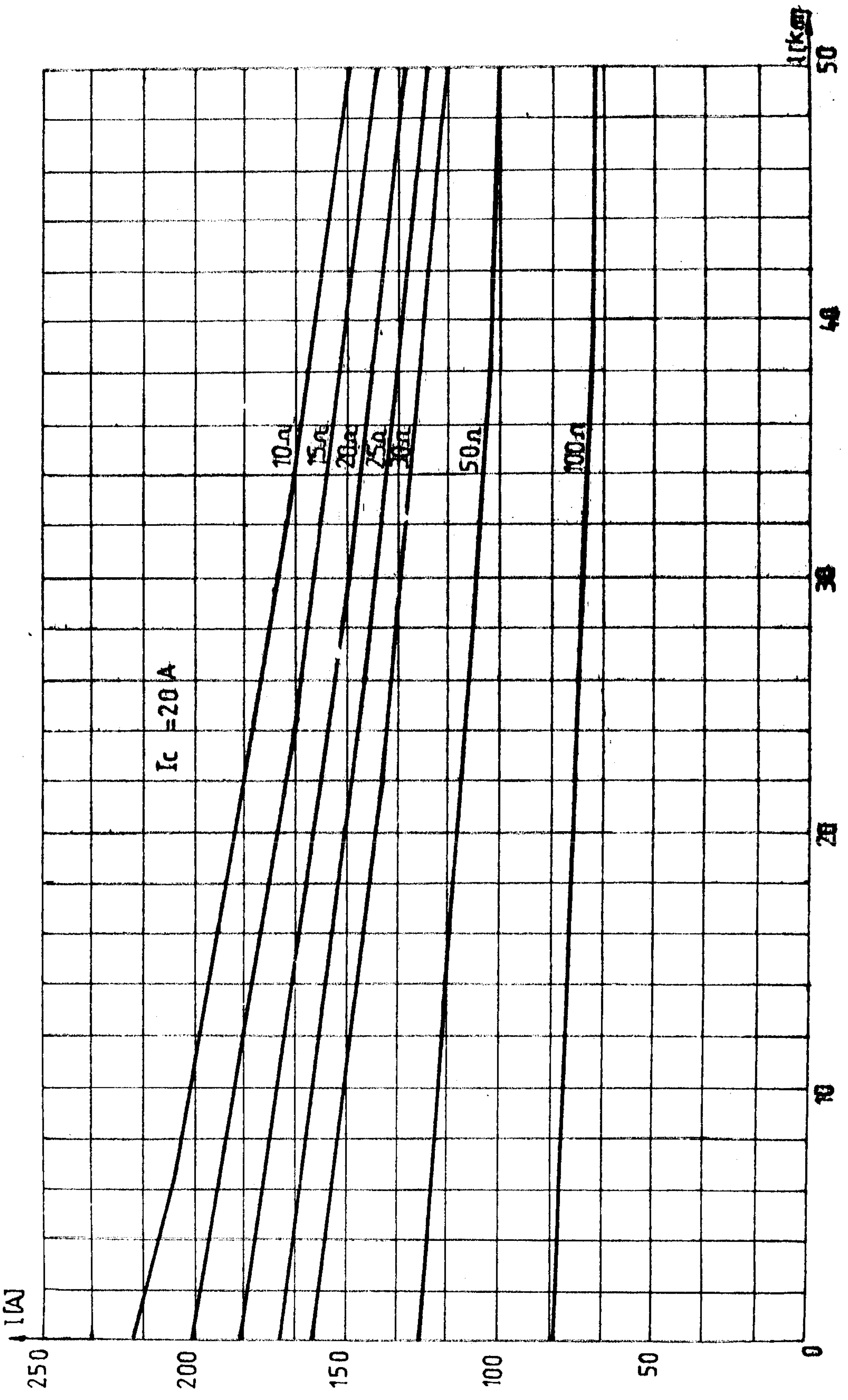

I [A]
250
200
150
100
50
0
l [km]
10
20
30
40
50
Ic =20 A
10 Ω
15 Ω
20 Ω
25 Ω
30 Ω
50 Ω
100 Ω

Figura 13

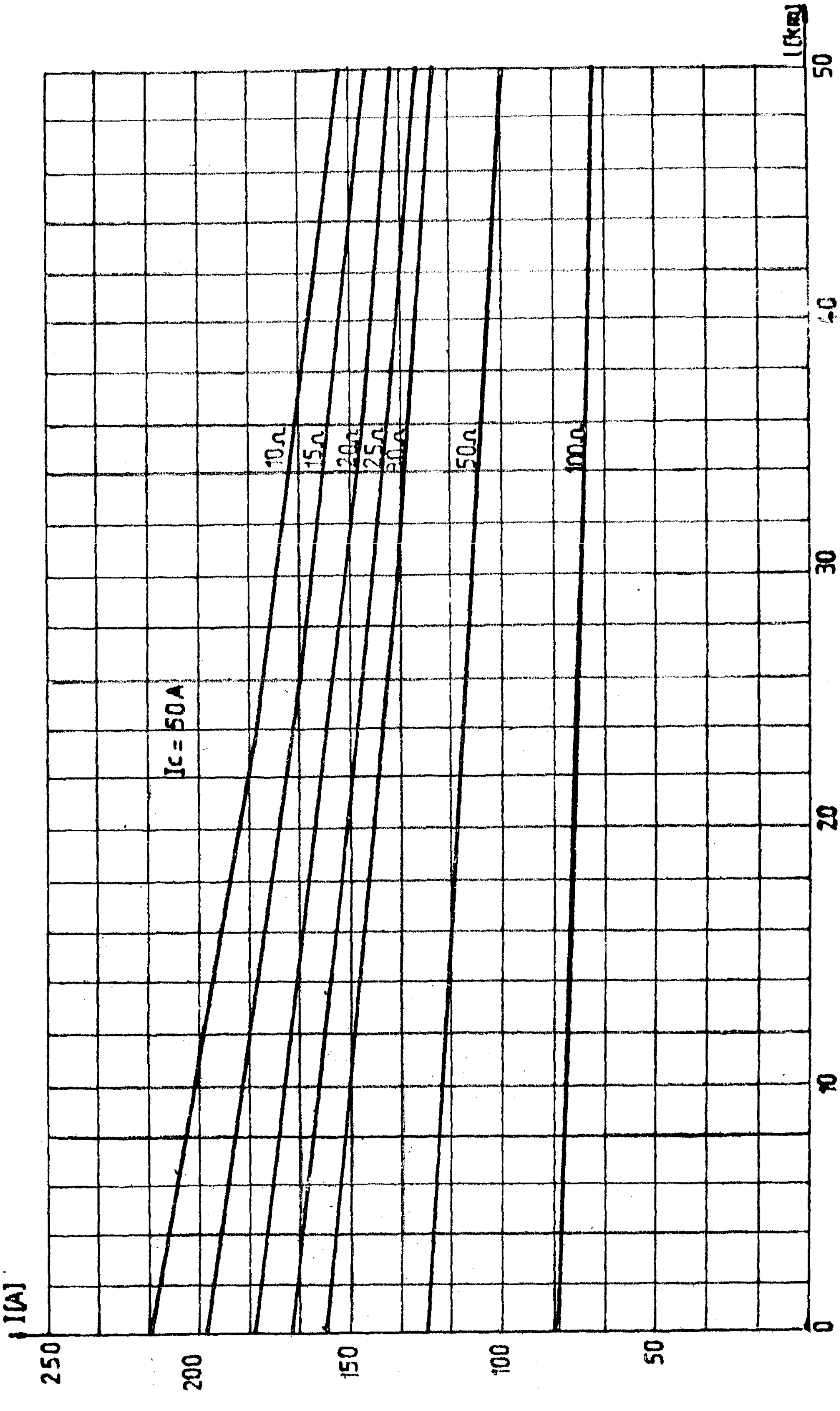

I[A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
l[km]
Ic = 50A
10Ω
15Ω
20Ω
25Ω
50Ω
100Ω

**Figura 14**

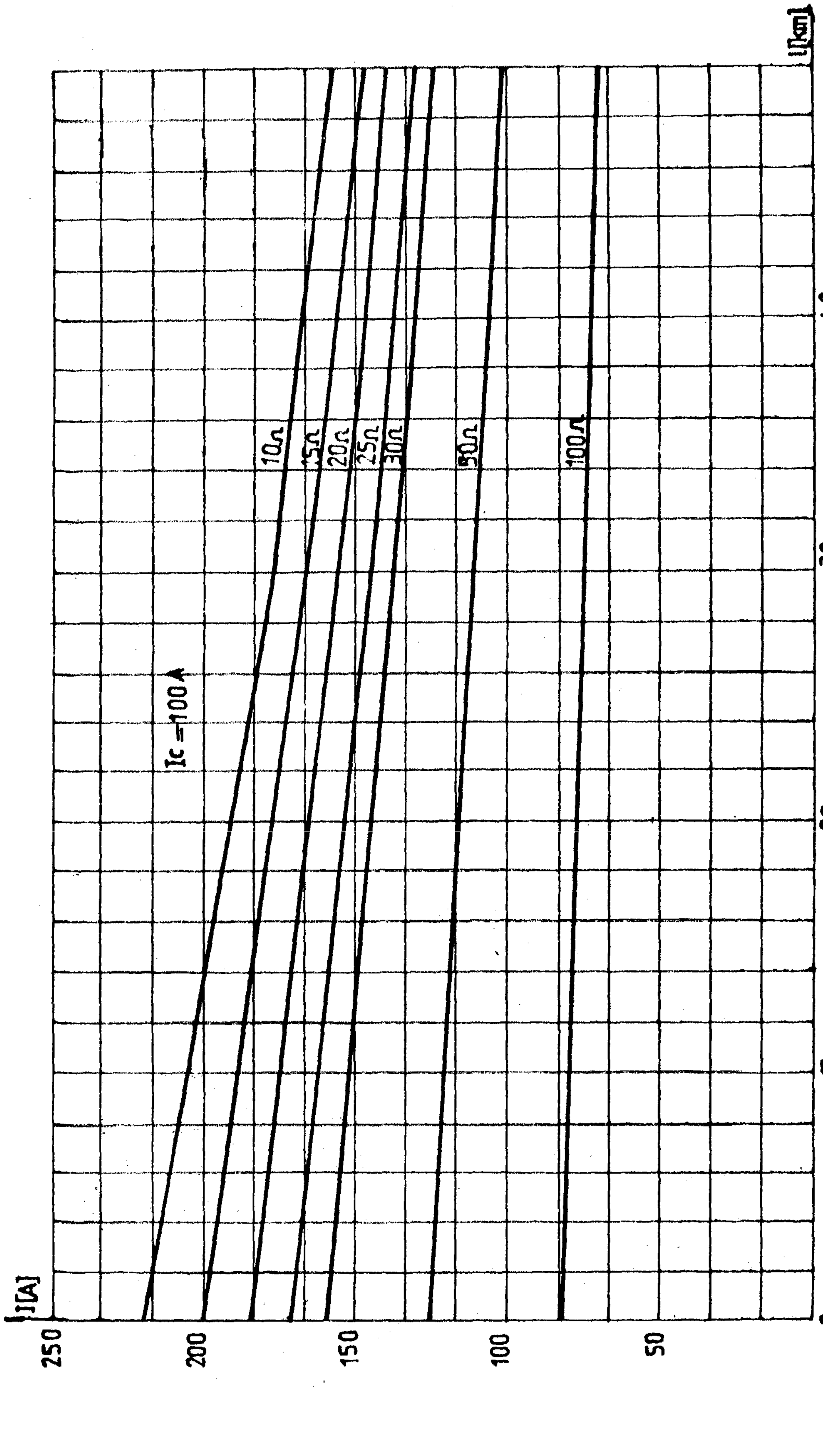

I[A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
l[km]
Ic =100A
10Ω
15Ω
20Ω
25Ω
30Ω
50Ω
100Ω

**Figura 15**

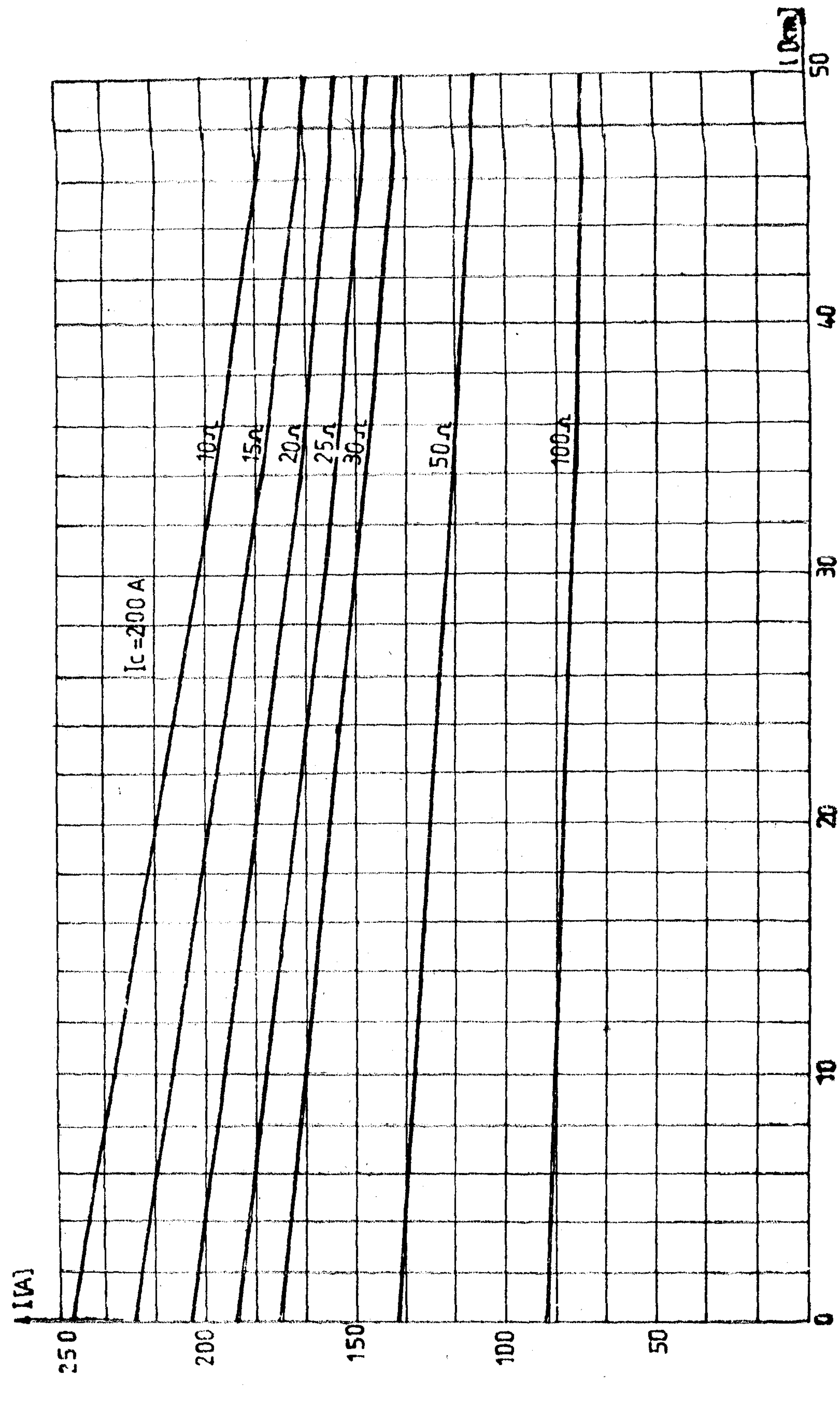
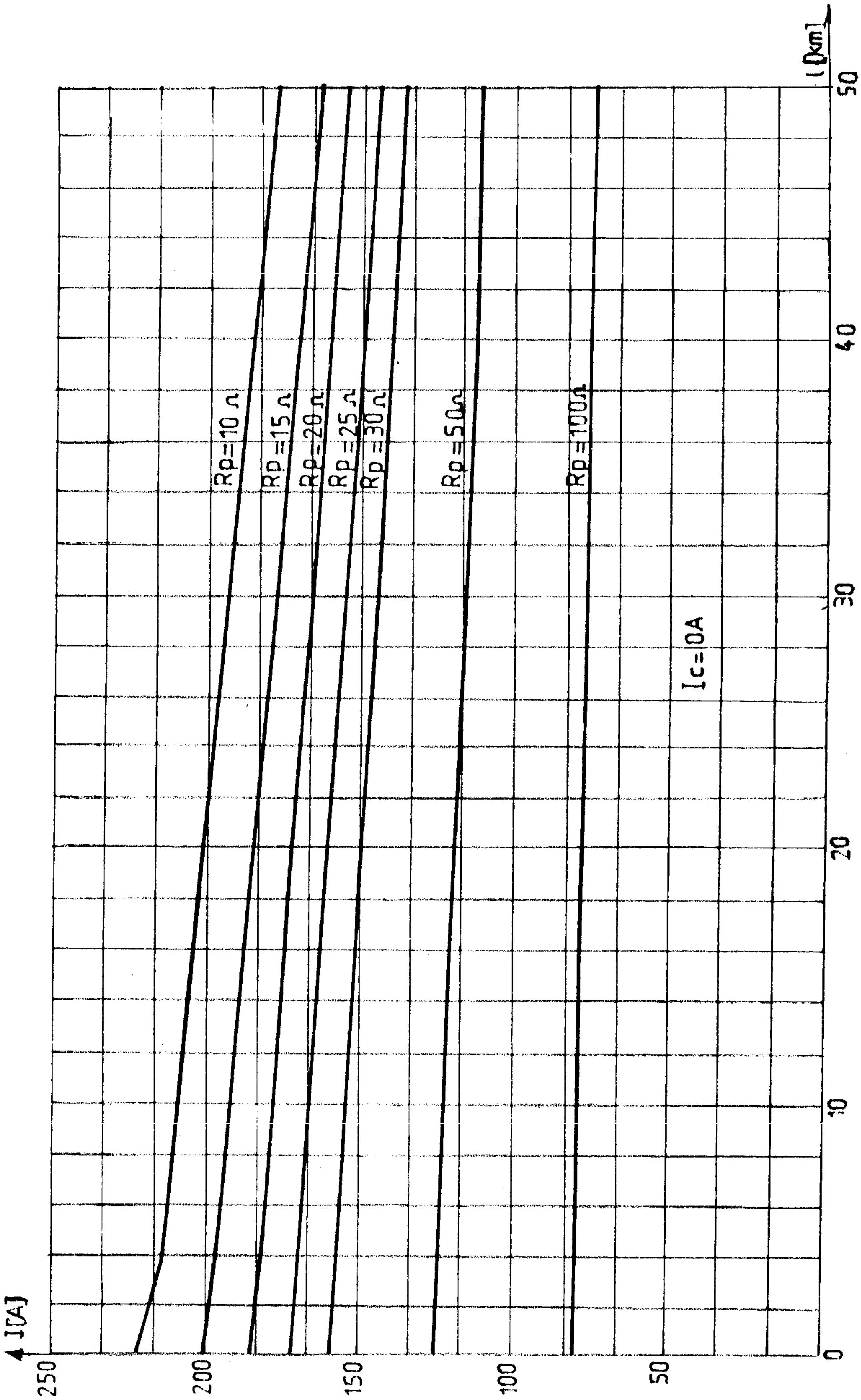

I [A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
l [km]
Ic = 200 A
10Ω
15Ω
20Ω
25Ω
30Ω
50Ω
100Ω

**Figura 16**



I[A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
l [km]
Rp=10 Ω
Rp=15 Ω
Rp=20 Ω
Rp=25 Ω
Rp=30 Ω
Rp=50 Ω
Rp=100 Ω
Ic=0A


**Figura 17**

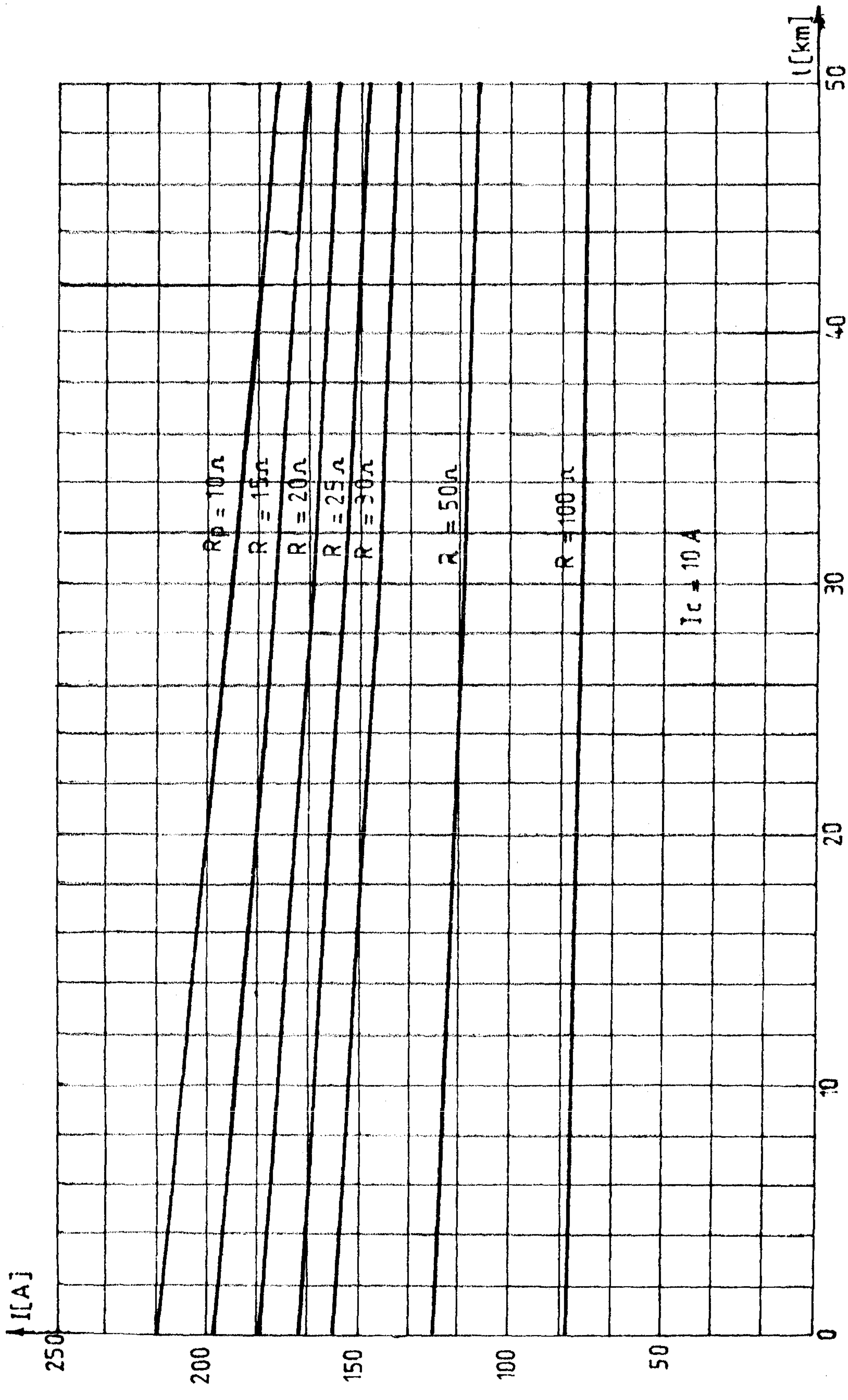
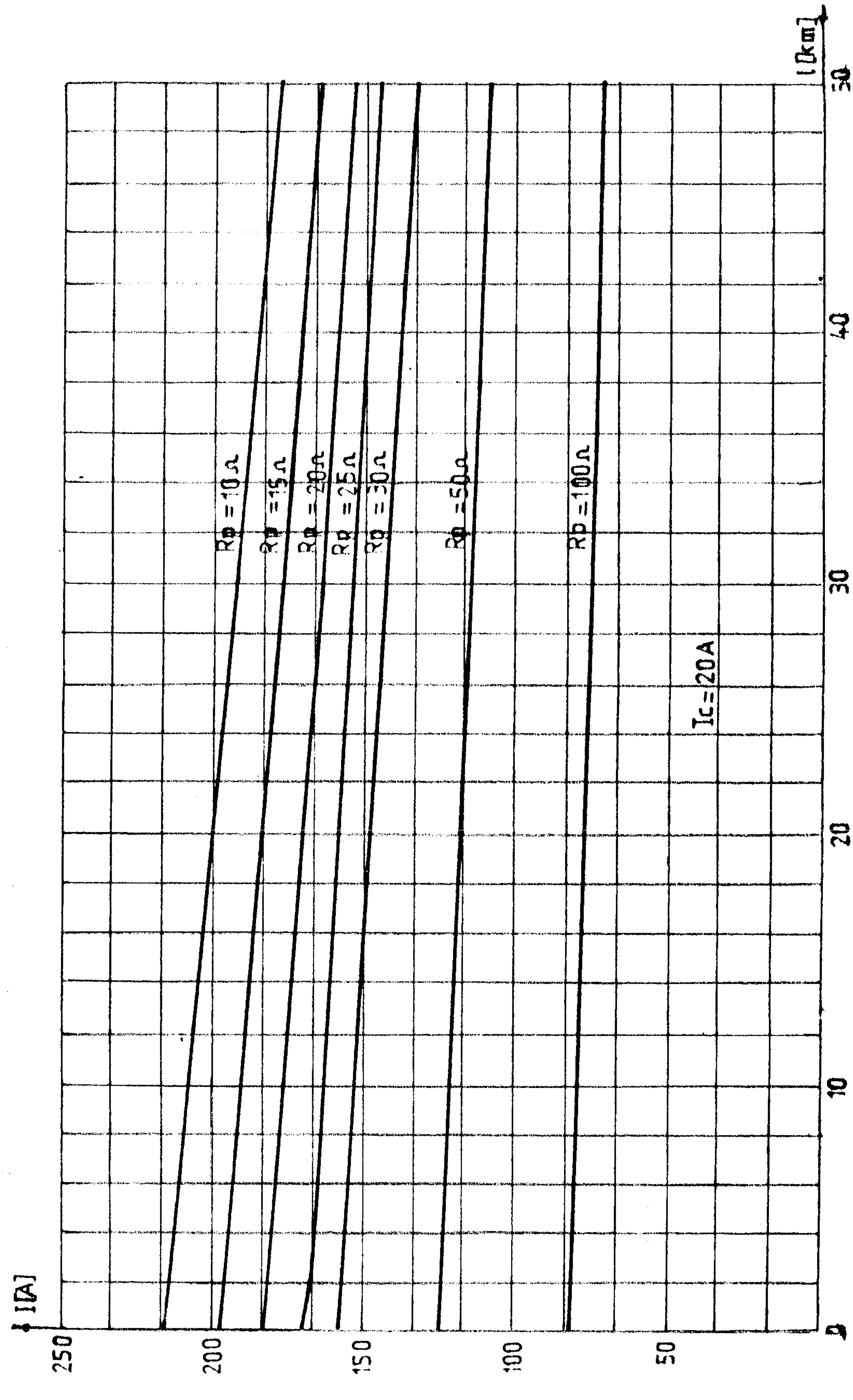
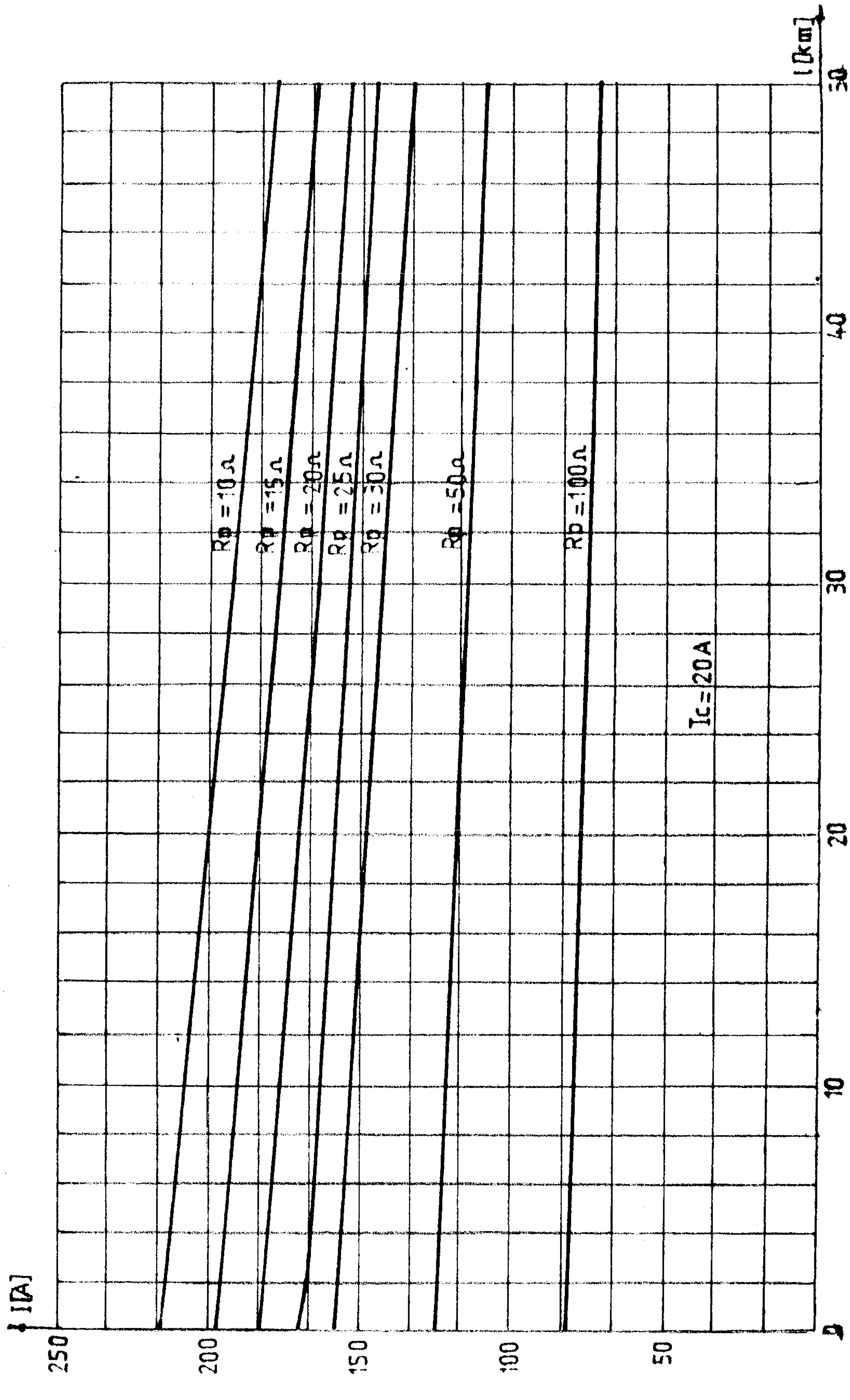

I[A]
l[km]
Rp = 10Ω
R = 15Ω
R = 20Ω
R = 25Ω
R = 30Ω
R = 50Ω
R = 100Ω
Ic = 10 A
0
10
20
30
40
50
250
200
150
100
50

**Figura 18**



I[A]
l[km]
250
200
150
100
50
10
20
30
40
50
Rb =10Ω
Rb =15Ω
Rb = 20Ω
Rb =25Ω
Rb =30Ω
Rb =50Ω
Rb =100Ω
Ic=20A


Figura 19



I[A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
[km]
Rb =10Ω
Rb =15Ω
Rb =20Ω
Rb =25Ω
Rb =30Ω
Rb =50Ω
Rb =100Ω
Ic=20A


**Figura 20**

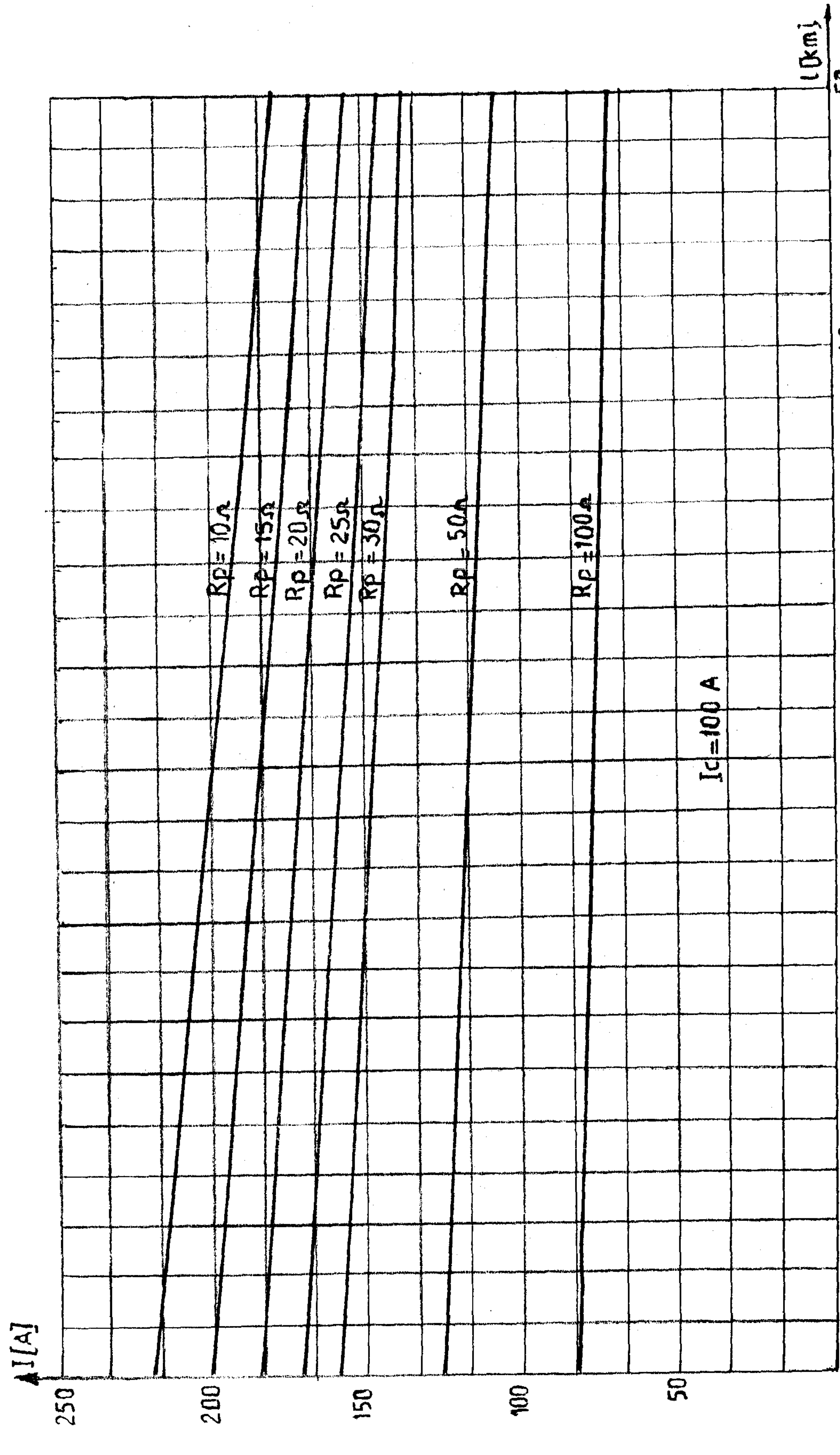
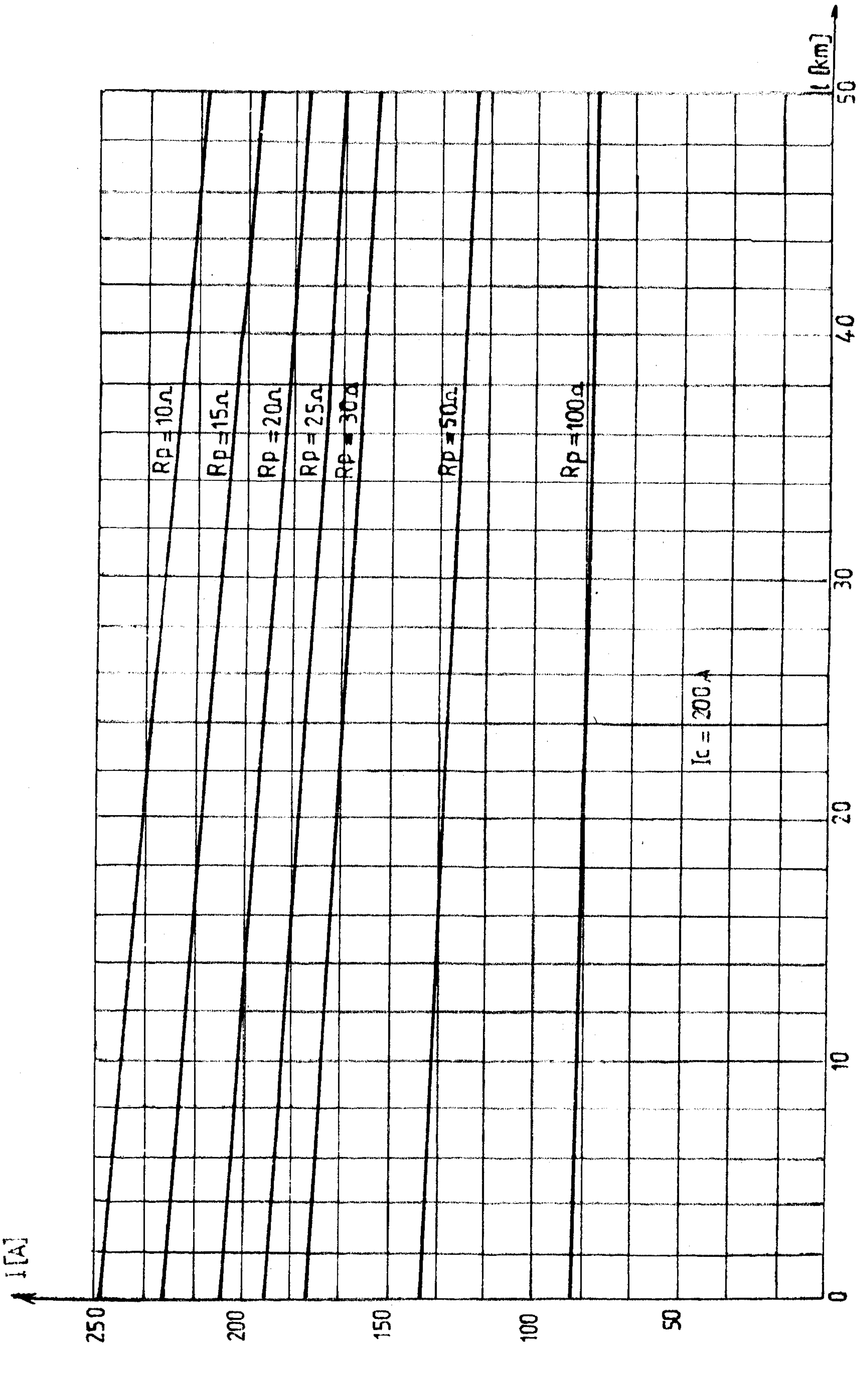

Rp=10Ω
Rp=15Ω
Rp=20Ω
Rp=25Ω
Rp=30Ω
Rp=50Ω
Rp=100Ω
Ic=100 A
I [A]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
l [km]

**Figura 21**



I [A]
l [km]
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
Rp = 10Ω
Rp = 15Ω
Rp = 20Ω
Rp = 25Ω
Rp = 30Ω
Rp = 50Ω
Rp = 100Ω
Ic = 200 A


**Figura 22**

$$R_{ps} \leq \frac{U_a}{I_p} \frac{\alpha_a + \beta - 1}{k_a} \quad \text{şi} \quad R_{ps} \leq \frac{U_{pas}}{I_p} \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}}$$

unde:

$U_a$ este tensiunea de atingere maximă admisă în V; conform celor arătate la subcap.2.3 (tabelul 2.3 şi STAS 2612-87);

$U_{pas}$ - tensiunea de pas maximă admisă, în V; conform celor arătate la subcap.2.3 (tabelul 2.3 şi STAS 2612-87);

$I_p$ - curentul maxim de punere la pământ care se poate închide prin priza de pământ respectivă, în A; în cazul prevederii unui conductor de compensare pe stâlpii LEA, în condiția de determinare a rezistenței de dispersie $R_{ps}$ se va lua $I_p = 0{,}8 \cdot I_{def}$ , $I_{def}$ fiind valoarea curentului de scurtcircuit maxim admis în rețeaua respectivă; s-a considerat $r_c = 0{,}8$;

$\alpha_a$ şi $\alpha_{pas}$ - coeficienții de izolare a amplasamentului față de pământ în jurul stâlpului pe o distanță de cel puțin 0,8 m pentru micşorarea tensiunii de atingere şi 1,25 m pentru micşorarea tensiunii de pas de la stâlp;

$\alpha_a = 2$ şi $\alpha_{pas} = 5$ pentru balast (piatră spartă) de 15 cm grosime;

$\alpha_a = 3$ şi $\alpha_{pas} = 9$ pentru dale (strat) de beton;

$\alpha_a = 5$ şi $\alpha_{pas} = 17$ pentru asfalt într-o grosime minimă de 2 cm ;

$\beta$ - coeficientul de izolare a betonului la stâlpii de beton armat, prin asimilare cu coeficientul pentru dale (strat) de beton; dacă nu se dispune de valori determinate, se va considera $\beta = 3$; coeficientul $\beta$ se consideră în calcule numai pentru cazul stâlpilor de beton armat fără aparataj şi numai în cazul tensiunii de atingere.

Pentru rețelele legate la pământ prin rezistență ohmică (schema $T_2T$) (a se vedea 1.RE-I$_p$ 35/2-92).

<u>Exemplul 1</u>: Rețea $T_2T$ LEA în zone cu circulație frecventă din localități, $t_b \leq 0{,}2$ s; $I_p = 250$ A la locul defectului, $U_a = U_{pas} = 1100$ V; fără strat izolant de adaos; fără prize de dirijare $k_a = 0{,}8$ şi $k_{pas} = 0{,}3$; $\rho = 100\ \Omega$m, rezultă:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{1{,}05 + 3 - 1}{0{,}8 \cdot 250} = 1100 \frac{3{,}05}{200} = 16{,}77\,\Omega$$

şi

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{1{,}2}{0{,}3 \cdot 250} = 1100 \frac{1{,}2}{75} = 17{,}6\,\Omega$$

Este necesară, deci o priză de pământ cu $R_{ps} \leq 16{,}77\,\Omega$

<u>Exemplul 2</u>: Idem, ca la exemplul 1, însă $t_b \leq 0{,}5$ s pentru care valorile maxime admise $U_a = U_{pas} = 500$ V;

$$R_{ps} \leq 500 \frac{3{,}05}{200} = 7{,}63\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_{ps} \leq 500 \frac{1{,}2}{75} = 8\,\Omega$$

Este necesară deci o priză de pământ cu $R_{ps} \leq 7{,}63\,\Omega$

<u>Exemplul 3</u>: Idem, ca la exemplul 2, însă $\rho = 1000\ \Omega$m

$$R_{ps} \leq 500 \frac{1{,}5 + 3 - 1}{200} = 500 \frac{3{,}5}{200} = 8{,}75\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_{ps} \leq 500 \frac{3}{75} = 20\,\Omega$$

<u>Exemplul 4</u>: Idem, ca la exemplul 1, însă $\rho = 1000\ \Omega$m, respectiv, exemplul 3 cu $t_b \leq 0{,}2$ s

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3{,}5}{200} = 19{,}25\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_{ps} \leq 1100 \frac{3}{75} = 44\,\Omega$$

În rețelele legate la pământ cu un singur sistem de protecție împotriva curentilor de punere la pământ (schema $T_1T$), cazul stâlpilor din rețelele 110 ... 750 kV se vor avea în vedere şi următoarele:

a) Modul de determinare a curentului $I_p$ este prezentat în anexa 7, din prezentul îndreptar.

b) Priza de pământ a stâlpului trebuie să fie stabilă din punct de vedere termic; în consecință, prizele dimensionate după condițiile de mai sus se vor verifica la stabilitate termică, conform STAS 12604/5-90 şi indicațiile din anexa 3, folosindu-se următoarea formulă:

$$s \geq I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}};$$

în valoarea suprafeței S se include şi suprafața electrodului constituit din armătură metalică a fundației, considerată drept priză de pământ naturală.

c) În cazul în care la o instalație satisfacerea condițiilor de stabilitate termică a prizei de pământ duce la cheltuieli mari, se poate admite depăşirea densităților de curent maxim admise, numai dacă se iau măsurile necesare de verificare a bunei stări a prizei de pământ şi a legăturilor la acestea după fiecare defect cu punere la pământ la instalația respectivă.

d) Atunci când nu se pot realiza cu mijloace economice condițiile de protecție împotriva tensiunilor de atingere şi de pas arătate mai sus, se vor monta la stâlpii respectivi din zona cu circulație frecventă, izolatoare cu nivelul de izolație cu 10 % mai mare decât în restul liniei.

În acest caz, tensiunile de atingere şi de pas nu se normează, iar prizele de pământ ale acestor stâlpi vor trebui să corespundă condițiilor impuse de protecția împotriva supratensiunilor atmosferice, conform subcap.5.2 din prezenta lucrare şi normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației şi protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor-NTE 001/03/00.

Condiția pe care trebuie să o îndeplinească prizele de pământ din punctul de vedere al protecției liniei împotriva supratensiunilor atmosferice se exprimă astfel:

$$R_p \leq \frac{U_t}{\alpha_i \cdot I_t}$$

în care:

$R_p$ este rezistența de dispersie a prizei (Ω);

$U_t$ - tensiunea de ținere la implus a instalației de pe stâlpul la care se verifică priza (kV);

$I_t$ - curentul de calcul la supratensiuni atmosferice, (kA);

$\alpha_i$ - coeficientul de impuls al prizei, conform tabelului din cap.5.

Indiferent de rezultatele calculului, în vederea asigurării unei cât mai favorabile dirijări a distribuției potențialelor în jurul stâlpului, priza de pământ a stâlpului se va executa ca tip şi formă potrivit indicațiilor din figura 6, în zonele cu circulație frecventă, respectiv din figura 7, în zonele cu circulație redusă.

Pentru a se putea pune în valoare prizele naturale ale stâlpilor fixați în teren prin fundații de beton armat, barele principale (verticale) ale armăturii fundației vor fi legate galvanic în partea superioară atât între ele, cât şi la piciorul metalic al stâlpului încadrat în fundație.

La toți stâlpii metalici şi de beton armat ai liniilor sau ai porțiunilor de linii echipate cu conductoare de protecție, se va realiza legarea conductoarelor de protecție la prizele de pământ ale stâlpilor respectivi.

Conductoarele de legare la priza de pământ a stâlpilor trebuie să fie dimensionate pentru a fi stabile din punct de vedere termic; condiția de verificare este:

$$s \geq \frac{i_p \cdot \sqrt{t}}{j}$$

unde:

s este secțiunea conductorului de ramificație;

$i_p$ - partea din curentul total de punere la pământ $I_p$, care trece prin priza stâlpului respectiv;

t - timpul protecției de rezervă prevăzută pentru deconectarea punerilor la pământ monofazate;

j - densitatea de curent admisibilă prin conductorul respectiv; la oțel se va considera $j = 70$ A/mm$^2$.

În cazul în care nu se pot îndeplini cu soluții economice condițiile impuse de protecția împotriva supratensiunilor atmosferice, prizele de pământ ale stâlpilor se vor realiza astfel încât să se obțină pentru rezistența de dispersie cel puțin valorile din tabelul 6 de la pct.5.2.2.

În incintele (teritoriile) îngrădite ale întreprinderilor industriale şi agricole cu circulație frecventă, precum şi în cazul plajelor şi terenurilor de campament (camping), stâlpii liniilor electrice aeriene

vor fi prevăzuţi întotdeauna cu prize de pământ, conform indicaţiilor de la pct. 4.1.5.1. Se precizează că în cazul incintelor industriale, instalaţiile de legare la pământ vor fi astfel dimensionate încât tensiunile de atingere şi de pas să fie mai mici sau cel mult egale cu 125 V, în cazul reţelelor T şi $T_1T$ şi 250 V în cazul reţelelor $T_2T$ (a se vedea tabelul 2.3 pct. 2.d), indiferent de timpul de întrerupere a curentului de punere la pământ considerat. La stâlpii în cauză se recomandă folosirea izolatoarelor nestrăpungibile. Pentru respectarea acestor condiţii, se va proceda ca la pct. 4.1.5.1. şi 4.1.5.2 (relaţiile de calcul), folosindu-se în calcule valoarea indicată mai sus de 125 V, respectiv 250 V.

Dacă valoarea de 125 V în cazul reţelelor $T_1T$ nu poate fi obţinută în condiţii economice, se vor folosi izolatoare nestrăpungibile la stâlpii respectivi, iar prizele de pământ de la aceşti stâlpi se vor realiza corespunzător indicaţiilor din figura 6. În plus, totdeauna va fi prevăzut un strat de balast (piatră sfărâmată de 15 - 20 cm) sau asfalt pe suprafaţa ocupată de priză. Prizele, dimensionate după condiţia de mai sus, se vor verifica din punctul de vedere al protecţiei împotriva supratensiunilor atmosferice, conform cap. 5 şi din punctul de vedere al stabilităţii termice, conform anexei 3 din prezenta lucrare.

Pentru realizarea constructivă şi recepţia prizelor de pământ se va respecta STAS 12604/5-90.

Pentru legăturile conductoarelor de protecţie şi pentru prizele de pământ la stâlpi, vor fi respectate indicaţiile de la pct. 4.1.5.1 şi 4.1.5.2 din prezentul îndreptar.

În incintele industriale şi agricole cu circulaţie frecventă este necesar să se realizeze o reţea generală de legare la pământ prin legarea între ele a tuturor prizelor de pământ din incintă, inclusiv a celor de la stâlpii LEA de j.t. şi de î.t. În acest caz rezistenţa de dispersie rezultantă este calculată conform cu prevederile pct. 4.1.4.6 din prezentul îndreptar.

<u>Exemplul 5</u>: Reţeaua $T_2T$ cu LEA de 20 kV, prize separate la fiecare stâlp; $I_p$ = 250 A; la locul defectului se prevede câte o priză de dirijare la fiecare stâlp cu $k_a$ = 0,5 şi $k_{pas}$ = 0,2 fără adăugarea de strat izolant şi $\alpha_a = \alpha_{pas}$ = 1, rezultă necesar la fiecare stâlp:

$$R_{ps} \leq 250\frac{\alpha_a + \beta - 1}{k_a \cdot I_p} = 250\frac{3}{0{,}5 \cdot 250} = 6\,\Omega$$

$$R_{ps} \leq 250\frac{\alpha_{pas}}{k_{pas} \cdot I_p} = 250\frac{1}{0{,}2 \cdot 250} = 5\,\Omega$$

rezultă: $R_{ps} \leq 5\ \Omega$ la fiecare stâlp.

<u>Exemplul 6</u>: Idem, dar toţi stâlpii se leagă la reţeaua generală de legare la pământ din incintă rezistenţa de dispersie rezultantă $R_{pn}$ cu condiţiile $r_k = 1$; $r_e = 0{,}8$; $r_i = 1$; $r_c = 1$.

$$R_{pn} = 250\frac{1}{0{,}8 \cdot 250} = 1{,}25\,\Omega$$

De regulă, în incintă trebuie să se realizeze o reţea generală de legare la pământ cu $R_{pv} \leq 1\ \Omega$ pentru folosirea în comun şi pentru instalaţiile de protecţie împotriva descărcărilor atmosferice.

#### 4.1.5.3. Stâlpi LEA cu aparataj

a) Stâlpii cu aparataj din localităţi şi din incintele industriale şi agricole cu circulaţie frecventă, plaje şi terenuri de camping.

La stâlpii din localităţi sunt valabile toate raţionamentele şi soluţiile indicate pentru stâlpii fără aparataj din zonele cu o circulaţie frecventă din localităţi, (a se vedea pct. 4.1.5.2 de mai sus), condiţia generală de dimensionare fiind:

$$R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_a}{k_a} \leq U_a \quad \text{şi} \quad R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}} \leq U_{pas}$$

unde:

$U_a$ şi $U_{pas}$ se determină conform STAS 2612-87 şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, cu observaţia că la aceşti stâlpi nu se consideră coeficientul β, deoarece există pe stâlpi elemente metalice legate la pământ care pot fi atinse de persoane.

Pentru stâlpii cu aparataj din incintele industriale şi agricole cu circulaţie frecventă, plaje şi terenuri de camping sunt valabile, de asemenea toate raţionamentele şi soluţiile de la pct. 4.1.5.2 privind stâlpii fără aparataj, condiţia de dimensionare fiind aceeaşi şi anume indiferent de timpul

de declanşare la curentul maxim de punere la pământ, trebuie să se asigure respectarea limitelor maxime pentru tensiunile de atingere şi de pas corespunzătoare acestor stâlpi, cu observația că nu se ia în calcule coeficientul β care în acest caz este egal cu 1.

Condiția specială privind stâlpii cu aparataj este ca întotdeauna şi la orice lucrare, când LEA se află sub tensiune (controale, manevre), să se folosească mijloace individuale de protecție izolante (mănuşi şi cizme electroizolante), conform STAS 12604/5-90.

În localități, dacă se prevede un conductor de compensare, stâlpii cu aparataj se vor racorda împreună cu ceilalți stâlpi (fără aparataj) la acest conductor în vederea reducerii curentului $I_p$ prin prizele de pământ ($I_p$ = 0,8 $I_{def}$) şi pentru obținerea unei rezistențe de dispersie echivalente reduse $R_{ps}$ pentru toți stâlpii.

În incintele îngrădite, de regulă, se vor racorda la rețeaua generală de legare la pământ a incintei şi stâlpii cu aparate, după cum s-a arătat şi la cazul stâlpilor fără aparataj de la pct.4.1.5.2. de mai sus.

b) Stâlpii cu aparataj din afara localităților (indiferent de zonă), inclusiv zona (incintele) agricole cu circulație redusă.

În cazul unui stâlp cu aparataj din afara localității (indiferent de zonă), inclusiv zona (incintele) agricole cu circulație redusă, tensiunile de atingere şi de pas maxime admise sunt cele din STAS 2612-87 tabelul 6 pct.3 (a) şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, în funcție de timpul de declanşare la intensitatea maximă a curentului de punere la pământ la stâlpul respectiv şi la categoria rețelei.

Condițiile de dimensionare şi soluțiile de rezolvare indicate pentru stâlpii LEA fără aparataj din localități din prezentul îndreptar se pot aplica şi în cazul stâlpilor cu aparataj din sfera localităților, cu excepția soluției de legare între ele a două sau mai multor prize de pământ de la stâlpii învecinați. Trebuie avut în vedere că la stâlpii învecinați care în marea lor majoritate sunt fără aparataj, nu se impune nici o condiție de asigurare a unor prize de pământ din considerentele de obținere a unor tensiuni de atingere şi de pas sub anumite limite. Deci, practic este necesar ca la fiecare stâlp cu aparataj să se realizeze o priză de pământ care să îndeplinească condițiile:

$$R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_a}{k_a} \le U_a \quad \text{şi} \quad R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}} \le U_{pas}$$

Posibilitatea de a se micşora costul prizelor de pământ constă în reducerea timpului de acționare a protecției de bază, astfel încât să se declanşeze linia respectivă într-un timp cât mai scurt posibil. Astfel, dacă acest timp este $t_b \le 1{,}2$ s, în cazul rețelelor IT tensiunea de atingere şi de pas maximă admisă este $U_a$ = 125 V, în cazul rețelelor $T_1T$ este 250 V, iar în cazul rețelelor $T_2T$ este 500 V.

În acest mod se cade pe condiția de realizare a prizelor de pământ la stâlpii din localități, cu observația, din nou, că nu se poate aplica soluția indicată pentru acele cazuri de legare între ele a două sau mai multe prize de la stâlpii învecinați, decât doar dacă pe toți stâlpii se montează un conductor de compensare pentru reducerea rezistenței de dispersie rezultante la postul de transformare alimentat pe linia respectivă. În acest caz, în condițiile de mai sus se ia $I_p$ = 0,8 $I_{def}$.

În conformitate cu îndrumarul 1RE-I$_p$ 35/2-92, la stâlpii cu aparataj din afara localităților, condițiile de dimensionare a rezistenței de dispersie $R_{ps}$ se reduc la condiția:

$R_{ps} \le 4\ \Omega$,

fără a mai fi necesară verificarea tensiunilor de atingere şi de pas, dacă la manevrarea dispozitivelor de acționare de pe stâlpii respectivi, manetele acestora se acoperă cu un material izolant corespunzător unei tensiuni de lucru cel puțin egală cu valoarea:

$U_1 = R_{ps} \cdot I_p \cdot k_a$, însă nu mai puțin de 1000 V, respectiv tensiunea de încercare de 2500 V.

La astfel de stâlpi, oricare alte lucrări decât executarea manevrelor trebuie efectuate cu scoaterea de sub tensiune. Curentul $I_p$ se determină în funcție de lungimea rețelei până la locul defectului şi rezistența prizei de pământ $R_p$ până la locul defectului.

4.1.5.4. Determinarea curentului $I_{def}$ de calcul în cazul rețelelor legate la pământ prin rezistență (simbol $T_2T$).

În cazul rețelelor legate la pământ prin rezistență ($T_2T$) curentul $I_{def}$ de calcul trebuie determinat ținând seama de următoarele impedanțe:

- rezistența electrică a rezistorului de pe neutrul rețelei $R_n$;
- rezistența de dispersie a prizei de pământ la locul defectului $R_p$;

- impedanța conductorului rețelei până la locul defectului;
- reactanța capacitivă a rețelei care determină componenta capacitivă a curentului de defect $I_{def}$;
- reactanța inductivă a curentului de defect datorită înfăşurărilor cu ajutorul cărora s-a obținut neutrul rețelei (a transformatorului TSP sau bobinei de neutru BPN) şi care determină componenta inductivă a curentului de defect $I_{def}$.

Orientativ, în curbele din figurile 11... 22 se prezintă curentul de defect, în funcție de curentul capacitiv total al rețelei $I_c$, rezistența de dispersie la locul defectului şi modul de realizare a neutrului care se leagă la rezistor $R_n$ (la BPN sau la TSP).

Exemplul 7: Curentul capacitiv total al rețelei este $I_c$ = 50 A, lungimea până la locul defectului este l = 20 km, rezistorul este de 300 A ($R_n \cong 38\ \Omega$), stâlp în zona cu circulație frecventă din localități, fără priză de dirijarea distribuției potențialelor $k_a$ = 0,8 şi $k_{pas}$ = 0,3, fără adaos de strat izolant, $t_b \leq 0{,}2$ s, priză de pământ de ≅ 30 Ω pentru ρ = 100 Ωm, iar curentul $I_{def}$ de calcul: $I_{def_}$ = 141,7 A. Rezultă condițiile:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3{,}05}{0{,}8 \times 141{,}7} \cong 29\,\Omega \quad \text{şi} \quad R_{ps} \leq 1100 \frac{1{,}2}{0{,}3 \times 141{,}7} \cong 30\,\Omega$$

Deci, priza trebuie să fie cel mult 29 Ω.

În cazul în care priza are $R_{ps}$ = 20 Ω, rezultă $I_{def} \cong 160$ A şi condiția devine:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3{,}05}{0{,}8 \times 160} \cong 26\,\Omega$$

În conformitate cu pct. 4.1.5.1 de mai sus, totdeauna trebuie îndeplinită condiția $I_{def} \geq 2\ I_r$; trebuie să se verifice şi condiția de declanşare prin protecția respectivă, şi anume:

$I_{def} \geq 2\ I_r$ ; $I_r$ este curentul minim la care funcționează protecția.

### 4.2. Rețelele izolate față de pământ (IT)

### 4.2.1. Condiții generale

4.2.1.1. În cazul rețelelor față de pământ (simbol IT), dimensionarea instalației de legare la pământ se va efectua cu respectarea condițiilor de calcul din STAS 12604/4-89 şi anexele aceluiaşi standard. În vederea calculelor, pentru fiecare caz în parte se vor stabili tensiunile de atingere şi de pas maxime admise, curenții şi timpii, corespunzător indicațiilor din standardul 12604/4-89, în funcție de categoria instalației şi a sistemului de protecție adoptat pentru semnalizarea şi deconectarea în cazul punerilor la pământ (a se vedea STAS 2612-87 şi tabelul 2.3 din prezentul îndreptar).

4.2.1.2. De regulă, pentru determinarea secțiunii conductoarelor de legare la pământ, în calcul se va considera curentul $I_d$ egal cu intensitatea curentului maxim de punere la pământ la timpul protecție respective.

### 4.2.2. Stații de conexiuni şi transformare

4.2.2.1. Convențional, se consideră în această categorie stațiile de medie tensiune din care nu se alimentează cu energie electrică consumatorii de 0,4 kV aflați în afara incintei respective.

Metodele de respectare a limitelor admise ale tensiunilor de atingere şi de pas sunt indicate în prezentul îndreptar şi anume la subcap. 4.1.2 pentru instalațiile exterioare şi la subcap. 4.1.3 pentru instalațiile interioare.

În toate cazurile, la calculul tensiunilor de atingere şi de pas se va considera curentul de punere simplă la pământ timp nelimitat (t > 3s) sau timpul protecției dacă se prevede deconectarea automată, în cazul unei puneri simple la pământ.

4.2.2.2. Dacă stația face parte dintr-o rețea construită în întregime din cabluri cu înveliş exterior metalic continuu sau dintr-o rețea de cabluri ale căror lungimi reprezintă cel puțin 66 % din totalul rețelei respective, dar nu mai puțin de 10 km, curentul considerat în calcule $I_p$ trebuie să fie egal cu intensitatea curentului de punere la pământ sau în cazul compensării, cu cea a curentului rezidual, însă cel puțin 10 A.

În stațiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat în calcule, $I_p$ va fi egal cu suma curenților bobinelor montate în stația respectivă.

Pentru respectarea condițiilor de stabilitate termică, rezistența instalației de legare la pământ $R_p$ se va determina din relația:

$$R_p \le \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

în care:

$I_p$ are valoarea indicată mai sus, privind curentul de punere simplă la pământ.

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere şi de pas, se va considera că valoarea maximă admisă $U_a = U_{pas}$ = 125 V în zonele cu circulație redusă şi $U_a = U_{pas}$ = 50 V în zonele cu circulație frecventă*). Trebuie să se satisfacă condiția:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \le \frac{U_a}{I_p} \quad ; \qquad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \le \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde:

$I_p$ are valoarea indicată mai sus privind curentul de punere la pământ.

*) Dacă stația se află în afara incintelor agricole sau industriale, în ambele cazuri se ia $U_a$ = $U_{pas}$ = 50 V.

4.2.2.3. Dacă stația face parte dintr-o rețea constituită din linii aeriene sau cabluri fără înveliş exterior metalic sau dintr-o rețea de cabluri cu învelişuri metalice care nu îndeplinesc condițiile de la pct. 4.2.2.2, în calculele privind limitarea tensiunilor de atingere şi de pas, se va putea considera un curent $I_p$ egal cu intensitatea curentului de punere simplă la pământ sau în cazul compensării, cu cea a curentului rezidual, însă cel puțin 10 A.

Instalația de legare la pământ se va realiza în aşa fel, încât să îndeplinească condițiile:

$$\frac{R_p \cdot k_a}{\alpha_a} \le \frac{U_a}{I_p} \quad \text{şi} \quad \frac{R_p \cdot k_{pas}}{\alpha_{pas}} \le \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde $U_a$ şi $U_{pas}$ sunt valorile indicate mai sus la 4.2.2.2, în funcție de categoria instalației şi timpul protecției.

Pentru satisfacerea condițiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ (din care rezultă valoarea rezistenței de dispersie a instalației de legare la pământ), se vor efectua verificări pentru următoarele trei condiții:

$$R_p \le \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p} \qquad (1)$$

$$R_p \le \frac{125}{I_{rm}} \cdot \sqrt{\frac{t}{t`}} \qquad (2)$$

$$S \ge I_{dpm} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}} \qquad (3)$$

unde:

$I_p$ este curentul de punere simplă la pământ sau curentul rezidual determinat ca la pct. 3.2.2.2, dar nu mai puțin de 10 A;

$I_{rm}$ - curentul minim prin priză, la care acționează protecția prevăzută pentru deconectarea automată în cazul unei puneri duble la pământ;

$I_{dpm}$ - curentul maxim de punere dublă la pământ, considerând o rezistență de trecere la pământ de calcul de 4 Ω, iat "t" este timpul de deconectare la acest curent.

În condiția (2) "t`" este timpul considerat pentru înlăturarea punerilor simple la pământ, iar "t" este timpul indicat în STAS 12604/4-89 şi anexa 3 din prezenta lucrare, în funcție de rezistivitatea ρ a solului şi de categoria prizelor singulare (verticale sau orizontale) care au pondere în determinarea rezistenței de dispersie respective. Celelalte notații sunt explicate în anexa 3.

În condiția (3) "t" este timpul protecției de rezervă.

Dacă condiția (2) nu se verifică în cazul punerilor la pământ, nedeconectabile prin protecție, se vor verifica instalațiile de legare la pământ respective (integritatea legăturilor rezistențelor de dispersie şi tensiunile de pas şi de atingere) de către unitățile de exploatare a instalațiilor

(echipamentelor) la care au avut loc punerile la pământ (după orice punere dublă la pământ nedeconectată prin protecție).

În cazul în care se prevăd protecții pentru deconectarea automată a punerilor simple la pământ, în calcule se va considera un curent $I_p$ egal cu intensitatea curentului de punere simplă la pământ, iar în cazul compensării rețelei se ia cea a curentului rezidual, însă cel puțin 10 A.

În stațiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat va fi $I_p$ egal cu suma curenților bobinelor.

Pentru respectarea condițiilor de stabilitate termică, rezistența instalației de legare la pământ $R_p$ se va determina prin relația:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

unde:

$I_p$ are valorile indicate în prezentul subcapitol, iar ρ este rezistivitatea medie (echivalentă) a solului.

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere şi de pas, se va considera că valoarea minimă admisibilă $U_a = U_{pas}$ = 125 V în zonele cu circulație redusă şi $U_a = U_{pas}$ = 50 V în zonele cu circulație frecventă.

### 4.2.3. Posturi de transformare

4.2.3.1. Dacă postul de transformare este racordat (pe partea tensiunii superioare) la o rețea constituită în întregime din cabluri cu înveliş exterior metalic continuu sau dintr-o rețea de cabluri a căror lungime reprezintă cel puțin 66% din totalul rețelei, dar nu mai puțin de 10 km, curentul considerat în calcule $I_p$ va fi egal cu intensitatea curentului de punere simplă la pământ sau în cazul compensării cu cea a curentului rezidual, însă cel puțin 10 A.

Pentru respectarea condițiilor de stabilitate termică, rezistența instalației de legare la pământ $R_p$ se va determina din relația:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

unde:

$I_p$ are valoarea indicată mai sus.

Indiferent de rezultatul calculului, rezistența $R_p$ va fi cel mult egală cu 4Ω.

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere şi de pas, se va considera că valoarea minimă admisibilă $U_a = U_{pas}$ = 125 V în zonele cu circulație redusă şi $U_a = U_{pas}$ = 50 V în zonele cu circulație frecventă.

Trebuie să se satisfacă condiția:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \leq \frac{U_a}{I_p} \quad ; \qquad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde:

$I_p$ are valoarea indicată mai sus în prezentul punct.

Dacă potențialul instalației de legare la pământ este $U_p$ = 125 V, în cazul zonelor cu circulație redusă, condiția privind tensiunile de atingere şi de pas este satisfăcută chiar pentru $k_a = k_{pas}$ =1. În zonele cu circulație frecventă rezultă ca necesar $k_a = k_{pas}$ =0,333.

În cazul posturilor de transformare zidite sau în cabine metalice, condiția $k_a = k_{pas}$ = 0,333 se consideră satisfăcută dacă se prevăd, în afară de priza de pământ artificială, încă două prize orizontale de dirijare în jurul postului; primul contur la 0,3 m de fundație şi la o adâncime de 0,2 … 0,3 m față de suprafața solului, iar al doilea contur va fi la 0,8 m de fundație şi la o adâncime de 0,4 - 0,8. Se va folosi oțel lat sau oțel rotund cu secțiunile şi grosimile minime indicate în STAS 12604/5-90.

Înainte de darea în exploatare se vor verifica prin măsurări coeficienții de atingere şi de pas obținuți, în special în cazul zonelor cu circulație frecventă. În caz de depăşire a valorilor scontate se vor adăuga prize de dirijare orizontale, după caz.

4.2.3.2. În cazul posturilor de transformare racordate (pe partea tensiunii superioare) la reţelele constituite din linii aeriene sau cabluri fără înveliş metalic care nu îndeplinesc condiţiile de la pct. 4.2.3.1, se disting două situaţii diferite:

a) posturi de transformare la care se foloseşte în comun instalaţia de legare la pământ atât pentru partea de înaltă tensiune, cât şi pentru partea de joasă tensiune;

b) posturi de transformare la care se realizează separarea pentru instalaţia de legare la pământ de pe partea de joasă tensiune faţă de cea de pe partea de înaltă tensiune.

În cazul "a" se va realiza totdeauna o priză de pământ artificială, a cărei rezistenţă va fi de cel mult 10 Ω; totodată, trebuie să se îndeplinească condiţia ca rezistenţa de dispersie rezultantă a sistemului constituit din conductorul de nul (de pe partea de joasă tensiune) şi prizele de pământ legate cu acestea să fie în orice condiţii mai mică de 4 Ω.

Rezistenţa de dispersie a instalaţiei de legare la pământ $R_p$ rezultată şi din contribuţia prizelor de pământ naturale de care se dispune, precum şi a celor la care se leagă conductorul de nul (de pe partea de joasă tensiune), trebuie să satisfacă relaţia:

$$R_p \le \frac{U_a}{I_p}$$

în care:

$I_p$ este curentul de punere simplă la pământ, iar în cazul compensării, curentul rezidual, însă nu mai mic de 10 A;

$U_a$ = 50 V.

La staţiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat în calcule $I_p$ va fi egal cu suma curenţilor bobinelor.

Pentru verificările la stabilitate termică, se vor respecta prevederile indicate la pct. 4.2.2.3 de mai sus.

Prin respectarea condiţiilor de mai sus, nu mai este necesară verificarea respectării limitelor pentru tensiunile de atingere şi de pas în zona postului.

În cazul "b" de la pct. 4.2.3.2 pentru instalaţia de legare la pământ de pe partea de înaltă tensiune, verificările la stabilitate termică şi la tensiunile de atingere şi de pas maxime admise, se vor efectua conform indicaţiilor de la pct. 3.2.2.3 din prezenta lucrare.

În zonele cu circulaţie frecventă pe partea de joasă tensiune se va realiza totdeauna o priză de pământ artificială, a cărei rezistenţă va fi de cel mult 10 Ω, cu condiţia ca totdeauna să se îndeplinească prevederea ca rezistenţa de dispersie rezultată a sistemului constituit de conductorul de nul şi prizele de pământ legate la acesta să fie mai mică de 4 Ω.

În cazul în care la postul de transformare există descărcătoare cu coarne pe partea de înaltă tensiune, priza de pământ locală a postului la care se racordează descărcătorul va avea totdeauna rezistenţa de dispersie de cel mult 10 Ω.

### 4.2.4. Instalaţii electrice în incinta centralelor electrice sau a întreprinderilor industriale

La centralele electrice şi întreprinderile industriale se va folosi în comun instalaţia de legare la pământ pentru toate echipamentele, indiferent de tensiunile nominale, respectându-se pct. 3.1.1.1 şi tabelul 4 (a se vedea şi pct.1.1.9).

Pentru instalaţiile şi echipamentele din reţelele de înaltă tensiune cu neutrul izolat se vor respecta indicaţiile date în subcapitolele 3.2.1 - 3.2.3 ale prezentei lucrări, în funcţie de categoria instalaţiei şi categoria zonei în care se află acestea din punct de vedere al frecvenţei circulaţiei.

La dimensionarea conductoarelor de ramificaţie se va respecta condiţia de la pct. 3.2.1.2.

### 4.2.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene

#### 4.2.5.1. Stâlpi fără aparataj din zonele cu circulaţie frecventă din localităţi.

Instalaţiile de legare la pământ prevăzute conform STAS 12604/5-90 şi pct. 1.4.4 din prezenta lucrare, la stâlpii fără aparataj ai liniilor electrice aeriene din zonele cu circulaţie frecventă din localităţi vor fi astfel dimensionate, încât tensiunile de atingere şi de pas să nu depăşească valoarea de 125 V.

Astfel:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a + \beta - 1} \leq \frac{125}{I_p} \quad ; \qquad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{125}{I_p}$$

în care:

$I_p$ are valoarea curentului de punere simplă la pământ sau în cazul compensării, cea a curentului rezidual, însă cel puţin 10 A;

$\alpha_a$ şi $\alpha_{pas}$ - coeficienţii de amplasament (a se vedea STAS 12604/4-89 şi pct. 4.1.5.2);

$\beta$ - coeficientul de izolare a betonului la stâlpii de beton armat (a se vedea pct. 3.1.5.2 din prezentul îndreptar).

### 4.2.5.2. Stâlpii cu aparataj

În cazul tuturor stâlpilor cu aparataj, se vor respecta condiţiile de mai sus de la pct. 3.2.5.1, cu deosebirea că se consideră $\beta$ =1.

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \leq \frac{125}{I_p} \quad ; \qquad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{125}{I_p}$$

Pentru asigurarea stabilităţii termice a prizelor de pământ se va îndeplini următoarea condiţie privind rezistenţa lor de dispersie:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

unde:

$I_p$ se va lua în conformitate cu indicaţia de la pct. 4.2.5.1, iar $\rho$ este rezistivitatea solului (exprimată în $\Omega$m).

În calcule se va considera în primul rând priza naturală a stâlpului.

Dacă cu această priză nu se pot respecta condiţiile de mai sus, atunci se vor adăuga suplimentar prize artificiale până la satisfacerea acestor condiţii.

Stâlpii cu aparataj de la liniile electrice aeriene, în plus, se impune măsura ca personalul de exploatare să folosească mijloace individuale de protecţie.

4.2.5.3. Stâlpi fără aparataj din zonele din afara localităţilor şi zonele cu circulaţie redusă din localităţi.

La stâlpii fără aparataj din aceste zone, conform STAS 12604/4-89, nu se impune montarea de prize de pământ din considerente de protecţie împotriva tensiunilor de atingere şi de pas.

La stâlpii la care din motive de protecţie împotriva supratensiunilor atmosferice se prevăd prize de pământ, acestea se vor dimensiona conform indicaţiilor din capitolul 5.

## 4.3. Cazurile în care o reţea de MT poate fi alimentată într-o schemă de abatere de la cea normală de funcţionare din staţii cu tratare diferită a neutrului faţă de tratarea neutrului în schema normală.

4.3.1. Instalaţiile de legare la pământ vor fi dimensionate pentru regimul normal de funcţionare. Fac excepţie numai instalaţiile de legare la pământ folosite în comun de la posturile de transformare, care trebuie să fie corespunzătoare din punct de vedere al tensiunilor de atingere impuse la consumatorii de joasă tensiune pentru condiţia cea mai nefavorabilă (curent de punere la pământ şi timpi de calcul). Liniile care au instalaţiile de legare la pământ concepute pentru funcţionarea normală a reţelei cu neutrul tratat cu bobină de compensare se notează cu $P_{BC}$. Liniile care au instalaţiile de legare la pământ concepute cu rezistor se notează cu $P_{Rn}$. Aceste notaţii se extind şi asupra reţelei şi a barei de 20 kV din care se alimentează liniile $P_{BC}$ şi $P_{Rn}$.

4.3.2. În perioada funcţionării în schema de abatere, sunt interzise efectuările de lucrări sau manevre la stâlpii cu aparataj şi la posturile de transformare aflate sub tensiune din liniile $P_{BC}$ alimentate temporar din staţia cu rezistor, precum şi la cele din liniile $P_{Rn}$, care au protecţia homopolară de curent PHCL (de pe linia respectivă) cu reglajul de timp mărit faţă de regimul normal de funcţionare.

4.3.3. În stația de 110/20 kV care are pe partea de 20 kV tratarea neutrului cu bobină de compensare $P_{BC}$ dar care poate prelua pentru alimentarea temporară în regim de abatere de la schema normală o linie $P_{Rn}$, se vor prevedea următoarele protecții specifice cazurilor tratate în prezentele reglementări:

a) protecția homopolară de tensiune PHT care să declanşeze în stația $P_{BC}$ rapid într-un timp $t_b \leq 0,8$ s linia $P_{Rn}$ în cazul sesizării unui defect cu punere la pământ fie în una din liniile $P_{BC}$ fie în linia $P_{Rn}$; protecția PHT se poate realiza în trei variante şi anume:
- PHT-L fără reanclanşarea automată a liniei $P_{Rn}$; în acest caz dacă defectul nu este pe această linie, reanclanşarea acesteia se efectuează manual;
- PHT-LR cu reanclanşarea automată a liniei $P_{Rn}$ dacă defectul cu punere la pământ este pe altă linie cu plecare din bara $P_{BC}$;
- PHT-LT cu declanşarea de rezervă (dacă este un refuz de funcționare a întrerupătorului de linie) a transformatorului de 110/20 kV în cazul acesta curentul capacitiv total este mai mare de 10 A;

b) protecția homopolară de curent PHCL pe linia $P_{Rn}$ cu reglaj de timp $t_b \leq 0,2$ s;

c) protecția homopolară de curent PHCL pe toate liniile $P_{BC}$ de plecare de pe bara $P_{BC}$ (diferite de linia care în totalitate sau parțial este $P_{Rn}$) cu reglaj de timp $t_b \leq 0,2$ s; aceste protecții PHCL nu sunt obligatorii în cazul regimurilor de abatere de scurtă durată notată cu $T_S$ când se poate rămâne numai cu protecțiile disponibile existente împotriva punerilor simple la pământ (de tipul RPP) pe declanşare într-un timp $t_b \leq 0,1$ s; de asemenea se admite ca în cazul regimului de abatere de lungă durată, până la realizarea în stația $P_{BC}$ a protecțiilor PHCL, să se funcționeze numai cu protecțiile disponibile existente împotriva punerilor simple la pământ (de tipul RPP) pe declanşare într-un timp $t_b \leq 0,2$ s.

4.3.4. În cazurile în care, pe perioada temporară de abatere o stație $P_{Rn}$ alimentează o stație $P_{BC}$, atât în regimurile $T_S$ cât şi în regimurile $T_l$, se anulează RART atât pe liniile $P_{BC}$ cât şi pe linia $P_{Rn}$ prin care se alimentează liniile $P_{BC}$ din stația $P_{Rn}$.

4.3.5. În stația cu tratare a neutrului cu rezistor $P_{Rn}$ se admite ridicarea reglajului de timp la protecția PHCL până la cel mult 0,4 s numai pe linia de interconexiune cu stația în care tratarea neutrului este cu bobină de compensare şi numai pe perioada de abatere de la schema normală când liniile $P_{BC}$ (din stația $P_{BC}$) sunt alimentate din stația $P_{Rn}$.

4.3.6. Se consideră perioada de abatere de scurtă durată (de cel mult 48 ore) notată cu $T_S$ dacă stația cu bobină de compensare $P_{BC}$ are două transformatoare de 110/20 kV care se pot rezerva reciproc alimentate prin două linii de 110 kV, de pe două bare distincte de 110 kV.

4.3.7. Se consideră perioada de abatere de lungă durată (mai mult de 48 ore) notată cu $T_l$ dacă stația cu bobină de compensare $P_{BC}$ are un singur transformator de 110/20 kV, respectiv o singură alimentare pe partea de 110 kV (chiar dacă în stația $P_{BC}$ sunt două transformatoare de 110/20 kV, dar o singură linie de alimentare de 110 kV).

## 5. PRIZELE DE PĂMÂNT PENTRU INSTALAȚIILE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA DESCĂRCĂRILOR ATMOSFERICE

### 5.1. Prevederi generale

5.1.1. La dimensionarea prizelor de pământ pentru instalațiile de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice trebuie să se aibă în vedere rezistența de impuls:

$$R_i = \alpha_i \cdot R_p$$

unde:

$\alpha_i$ reprezintă coeficientul de impuls al prizei (se va lua din tabelele 6, 7 şi 8);

$R_p$ - rezistența prizei de pământ pentru regim staționar (se calculează conform indicațiilor date în anexa A.1.1).

5.1.2. În cazul prizelor de pământ multiple sau complexe, rezistența de impuls $R_i$ se determină cu relația:

$$R_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{\eta_k}{\alpha_{ik} \cdot R_{pk}}}$$

în care:

$\eta_k$ este coeficientul de utilizare al prizei de rang k;

$\alpha_{ik}$ - coeficientul de impuls al prizei de rang k;

$R_{pk}$ - rezistența de trecere la pământ a prizei de rang k, în regim staționar.

5.1.3. În situația în care se consideră coeficienții de utilizare medii pentru priza de pământ complexă, construită din “m” prize verticale şi “n” prize orizontale simple, relația devine:

$$R_i = \frac{R_{iv} \cdot R_{io}}{R_{iv} + R_{io}}$$

$$R_{iv} = \alpha_{iv} \cdot \frac{r_{pv}}{\eta_v \cdot m} \quad \text{şi} \quad R_{i0} = \alpha_{i0} \cdot \frac{r_{p0}}{\eta_0 \cdot n}$$

5.1.4. În vederea limitării influențelor electroenergetice datorită trecerii curentului de trăsnet prin conductoarele instalației de legare la pământ, se vor lua următoarele măsuri:

- se vor utiliza, de preferință, prizele de pământ cât mai concentrate;
- distanța pe orizontală între conductorul de coborâre la priza de pământ şi electrozii principali ai prizei să fie cât mai mică;
- conductoarele de legătură de la obiectele ce se racordează la priză, până la aceasta din urmă, să fie cât mai scurte.

5.1.5. Orice priză de pământ trebuie astfel amplasată, încât locul de conectare al coborârii la priza de pământ să ocupe, pe cât posibil, o poziție centrală față de ansamblul prizei respective.

5.1.6. Adâncimea de pozare a prizelor de pământ se va alege în funcție de adâncimea probabilă de uscare a solului în decursul perioadei de vară. În condiții normale, se consideră suficientă o adâncime de 50 - 100 cm de la suprafața solului până la margimea superioară a prizei de pământ.

5.1.7. Prizele de pământ artificiale se vor executa din electrozi de oțel zincat cu secțiunea de cel puțin 150 $mm^2$ şi grosimea de cel puțin 4 mm, respectiv 3,5 mm la țeavă sau din electrozi nezincați cu secțiunea de cel puțin 150 $mm^2$ şi grosimea de cel puțin 6 mm, respectiv 4,5 mm la țeavă.

Se interzice vopsirea electrozilor îngropați în pământ.

Ca electrozi verticali se vor folosi, de regulă, țevi din oțel profilat cu lungimea de 1,5 ... 3 m iar ca electrozi orizontali se vor utiliza benzi de oțel rotund sau alte profiluri de oțel.

5.1.8. Toate îmbinările în partea subterană a prizelor de pământ se vor face cu sudură prin suprapunere.

5.1.9. Pentru condițiile de dimensionare şi de realizarea instalațiilor de legare la pământ pentru protecția împotriva supratensiunilor a se vedea şi normativul NTE 001/03/00.

### 5.2. Prizele de pământ la stâlpii liniilor electrice aeriene

5.2.1. Din punct de vedere al protecției împotriva supratensiunilor atmosferice, liniile electrice pe stâlpi de beton armat sunt considerate ca şi liniile pe stâlpi metalici.

Pentru protecția lor împotriva tensiunilor de atingere şi de pas, în afară de condițiile prevăzute în prezentul subcapitol, se vor respecta şi condițiile prevăzute în cap. 3.

5.2.2. În funcție de rezistivitatea solului, rezistența prizei de pământ a fiecărui stâlp nu va depăşi valorile din tabelul 6.

Tabelul 6

| Nr. crt. | Rezistivitatea solului, Ωm | Rezistența maximă a prizei de pământ | |
|---|---|---|---|
| | | U ≤ 110 kV | U > 110 kV |
| 1. | ρ ≤ 100 | 10 | 10*) |
| 2. | 100 <ρ ≤ 500 | 15 | 10 |
| 3. | 500 < ρ ≤ 1000 | 20 | 15 |
| 4. | ρ > 1000 | 30 | 20**) |

*) Se recomandă adoptarea unei rezistențe de până la 5Ω dacă aceasta nu impune greutăți deosebite de realizare.

**) În cazuri excepționale, când condițiile impun prize costisitoare, se admite valoarea maximă de 30 Ω.

Nu se admite depăşirea valorii de 30 Ω, deoarece nivelul protecției împotriva descărcărilor atmosferice ar coborî atât de mult, încât nici existența conductorului de protecție nu ar mai fi eficientă.

5.2.3. În toate cazurile, inclusiv în cazul liniilor prevăzute cu conductoare de protecție, valorile rezistențelor de dispersie din tabelul 6 de mai sus sunt valabile pentru priza de pământ locală a stâlpului, respectiv în situația cu priza de pământ a stâlpului deconectată de la conductorul de protecție.

5.2.4. Legătura la pământ a descărcătoarelor montate pe stâlpi metalici, se realizează prin corpul stâlpului respectiv iar la instalarea lor în apropiere de o stație, se leagă la priza de pământ a acesteia, respectându-se şi condițiile de la 4.2.6 şi 4.3.3. La stâlpii de beton armat pentru legătura la priza de pământ se va putea folosi armătura metalică a stâlpului, cu respectarea condițiilor de continuitate şi de secțiune minimă admisă.

5.2.5. În cazurile în care curentul de scurtcircuit depăşeşte limita superioară de rupere a descărcătorului, legătura la pământ se va face pe fiecare fază în parte, iar distanța între faze trebuie să fie de cel puțin 3 m.

5.2.6. Din considerentele de protecție împotriva descărcărilor atmosferice, valoarea rezistenței de legare la pământ a descărcătoarelor va fi:
- pentru descărcătoarele cu coarne montate pe stâlpii liniilor $R_p$ = 10 ... 20 Ω;
- pentru descărcătoarele de pe intrările în stațiile de transformare $R_p \leq 10\Omega$;
- pentru intrările în stațiile mai apropiate de centrale sau în centralele care au linii de distribuție la tensiunea generatoarelor $R_p \leq 3 \dots 5$ Ω.

La legăturile la pământ ale descărcătoarelor cu bare de oțel, secțiunea minimă este de 50 $mm^2$.

**5.3. Prizele de pământ la centrale şi stații**

5.3.1. Se recomandă ca racordarea paratrăsnetelor la rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ a stației să se execute prin mai multe căi, dispuse radial, cu prevederea unor electrozi suplimentari locali, care să realizeze o rezistență de maxim 25 Ω la frecvență industrială.

Tabelul 7

Valoarea aproximativă a coeficientului de impuls $\alpha_i$ pentru o priză simplă cu electrod vertical de lungime l, în cazul undei curentului de impuls cu frontul de 3 - 6 μs

| Nr. crt. | Rezistivitatea solului, Ωm | Curentul de trăsnet, kA | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | | 10 | | 20 | | 40 | |
| | | l = 2 m | l = 3 m | l = 2 m | l = 3m | l = 2 m | l = 3 m | l = 2 m | l = 3 m |
| 1 | $10^2$ | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,85 | 0,60 | 0,75 | 0,30 | 0,60 |
| 2 | $5 \cdot 10^2$ | 0,60 | 0,70 | 0,50 | 0,60 | 0,35 | 0,45 | 0,25 | 0,30 |
| 3 | $10^3$ | 0,45 | 0,55 | 0,35 | 0,45 | 0,23 | 0,30 | - | - |

Tabelul 8

Valoarea aproximativă a coeficientului de impuls $\alpha_i$ pentru o priză simplă cu electrod orizontal de lungime l, în cazul undei curentului de impuls cu frontul de 3 - 6 μs

| Nr. crt. | Rezistivitatea solului, Ωm | Lungimea electrodului, m | Curentul de trăsnet, kA | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10 | 20 | ≥ 40 |
| 1 | $10^2$ | 5<br>10<br>20 | 0,75<br>1,00<br>1,15 | 0,65<br>0,10<br>1,05 | 0,50<br>0,80<br>0,95 |
| 2 | $5\cdot10^2$ | 5<br>10<br>20<br>30 | 0,55<br>0,75<br>0,90<br>1,00 | 0,45<br>0,60<br>0,75<br>0,90 | 0,30<br>0,45<br>0,60<br>0,80 |
| 3 | $10^3$ | 10<br>20<br>40<br>60 | 0,55<br>0,75<br>0,95<br>1,15 | 0,45<br>0,60<br>0,85<br>1,10 | 0,35<br>0,50<br>0,75<br>0,95 |

Tabelul 9

Valorile aproximative ale coeficienților de impuls $\alpha_i$ pentru priza orizontală inelară, în cazul intrării curentului prin 3 sau 5 electrozi orizontali

| Nr. crt. | Rezistivitatea solului, Ωm | Lungimea inelului, m | Curentul de trăsnet, kA | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20 | 40 | ≥ 80 |
| 1 | $10^2$ | 4<br>8<br>12 | 0,60<br>0,70<br>0,80 | 0,45<br>0,65<br>0,70 | 0,35<br>0,50<br>0,60 |
| 2 | $5\cdot10^2$ | 4<br>8<br>12 | -<br>0,55<br>0,60 | -<br>0,45<br>0,50 | -<br>0,30<br>0,35 |
| 3 | $10^3$ | 4<br>8<br>12 | -<br>0,40<br>0,45 | -<br>0,30<br>0,40 | -<br>0,25<br>0,30 |
| 4 | $2\cdot10^3$ | 20<br>40<br>50<br>80<br>100 | 0,60<br>0,70<br>0,90<br>1,05<br>1,20 | 0,50<br>0,65<br>0,80<br>0,93<br>1,10 | 0,40<br>0,55<br>0,75<br>0,90<br>1,05 |

5.3.2. Din punct de vedere electric, coborârea de la vârful paratrăsnetului la prizele de pământ se realizează în felul următor:
- la stâlpii de beton armat, prin una din armături, căreia i se asigură continuitatea pe toată înălțimea stâlpului;
- la stâlpii metalici nu este necesară prevederea unei coborâri separate.

5.3.3. La locul de montare a descărcătoarelor trebuie să se prevadă suplimentar o priză de pământ individuală, care se va lega în paralel cu instalația de legare la pământ a stației; priza individuală legată în paralel trebuie să aibă o rezistență de cel mult 25 Ω.

Legătura la pământ se va realiza cu un conductor de coborâre din oțel, care să aibă o secțiune minimă de 50 $mm^2$. În afara legăturilor la descărcător şi la contor care necesită deconectarea pentru revizie, toate celelalte îmbinări trebuie să fie sudate.

# ANEXE

**ANEXA 1**

## A.1. Calculul rezistenței de dispersie

A.1.1. Pentru executarea unei prize de pământ de o anumită rezistență, este necesar să se efectueze un calcul prealabil, urmând ca după executarea prizei să se verifice prin măsurări directe concordanța între valoarea reală şi cea rezultată din calcul.

Totdeauna se vor folosi în primul rând prizele naturale. Prizele de pământ artificiale se vor folosi numai pentru completarea prizelor naturale şi pentru dirijarea distribuției potențialelor. Prevederea prizelor artificiale trebuie să fie justificată în proiect.

Proiectantul părții de construcții va da toate datele necesare pentru asigurarea continuității armăturilor metalice şi accesibilitatea lor pentru execuția legăturii. Proiectantul părții tehnologice va da detalii pentru accesibilitatea construcțiilor metalice, pentru utilizarea lor drept prize de pământ naturale şi conductoare de legătură. Unitățile de construcții-montaj vor respecta întocmai proiectul şi vor atesta execuția prin PV de lucrări ascunse, întocmite în timpul executării lucrărilor.

A.1.2. Rezistențele prizelor de pământ, de care trebuie să se țină seama la executarea prizelor de pământ, sunt:

- rezistența echivalentă a prizelor de pământ naturale, $R_{pn}$;
- rezistența echivalentă a prizelor de pământ artificiale, $R_{pa}$;
- rezistența echivalentă a prizelor de pământ pentru dirijarea distribuției potențialelor, $R_{pd}$;
- rezistența de dispersie $R_{sc}$ a sistemelor constituite din conductoarele de protecție ale LEA racordate la instalația de legare la pământ de la capete şi la prizele de pământ ale stâlpilor LEA, $R_{ps}$;
- rezistența de dispersie, rezultantă a altor prize aflate în incinta (platforma) respectivă, $R_v$, conductoarele de legătură având impedanța $Z_o$.

Rezistențele $R_{pa}$ şi $R_{pd}$ se vor determina luându-se în considerare coeficienții respectivi de utilizare.

A.1.3. Relația de calcul pentru rezistența unei prize de pământ complexe este următoarea:

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_{pa}} + \frac{1}{R_{pn}} + \frac{1}{R_{pd}} + \frac{1}{R_{sc}} + \frac{1}{R_v + Z_o}} \qquad (1.1)$$

Rezistența prizei artificiale, reprezintă rezistența echivalentă a prizelor de pământ artificiale singulare etc.

$$R_{pa} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{\eta_k}{r_{pk}}} \qquad (1.2)$$

unde:

$r_{pk}$ este rezistența prizei singulare de rang k;

$\eta_k$ - coeficientul de utilizare a prizei singulare de rang k.

La prizele cu electrozi identici, relația devine:

$$R_{pa} = \frac{r_p}{n \cdot \eta} \qquad (1.3)$$

unde:

$r_p$ este rezistența unei prize singulare;

$\eta$ - coeficientul de utilizare;

n - numărul de electrozi folosiți.

A.1.4. Prize de pământ singulare în soluri omogene

În anexa A, tabelele 6 … 9 din STAS 12604/5-90, se dau relațiile de calcul pentru diferite prize de pământ singulare (verticale şi orizontale) în soluri considerate omogene.

În cazul prizelor de pământ complexe cu electrozi verticali şi orizontali dispuşi în linie sau pe un contur coeficienții de utilizare a prizelor singulare sunt dați în tabelele 10 şi 11 din STAS 12604/5-90 şi tabelului A.1.1 de mai jos.

Prizele de pământ artificiale se vor executa din oțel şi/sau cupru; electrozii din cupru se vor folosi în cazuri justificate de exemplu, când solul este agresiv pentru oțel (pH < 6) sau dacă rezultă că folosirea cuprului este mai economică decât protejarea oțelului în strat de bentonită.

Tabelul A.1.1

| Nr. crt. | Numărul electrozilor | Distanța *a* dintre electrozii verticali în raport cu lungimea *l* a electrozilor | Coeficientul de utilizare | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Electrozi verticali aşezați liniar | | Electrozi verticali amplasați pe un contur (circuit Închis) | |
| | | | priza verticală $u_1$ | priza orizontală $u_2$ | priza verticală $u_1$ | priza orizontală $u_2$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 2 | a = 1 | 0,85 | 0,80 | - | - |
| | 3 | | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 0,50 |
| | 4 | | 0,75 | 0,77 | 0,65 | 0,45 |
| | 5 | | 0,70 | 0,75 | 0,62 | 0,42 |
| | 6 | | 0,65 | 0,60 | 0,60 | 0,40 |
| | 10 | | 0,60 | 0,60 | 0,55 | 0,33 |
| | 20 | | 0,50 | 0,20 | 0,50 | 0,25 |
| | 40 | | - | 0,20 | 0,40 | 0,20 |
| | 60 | | - | - | 0,38 | 0,20 |
| | 100 | | - | - | 0,35 | 0,19 |
| 2 | 2 | a = 2,1 | 0,90 | 0,90 | - | - |
| | 3 | | 0,85 | 0,90 | 0,80 | 0,60 |
| | 4 | | 0,82 | 0,88 | 0,75 | 0,55 |
| | 5 | | 0,80 | 0,85 | 0,72 | 0,52 |
| | 6 | | 0,78 | 0,80 | 0,70 | 0,50 |
| | 10 | | 0,75 | 0,75 | 0,66 | 0,44 |
| | 20 | | 0,70 | 0,56 | 0,61 | 0,30 |
| | 40 | | - | 0,40 | 0,55 | 0,29 |
| | 60 | | - | - | 0,52 | 0,27 |
| | 100 | | - | - | 0,50 | 0,24 |
| 3 | 2 | a = 3,1 | 0,95 | 0,95 | - | - |
| | 3 | | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,75 |
| | 4 | | 0,88 | 0,85 | 0,85 | 0,70 |
| | 5 | | 0,85 | 0,82 | 0,82 | 0,68 |
| | 6 | | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,65 |
| | 10 | | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,56 |
| | 20 | | 0,75 | 0,68 | 0,70 | 0,45 |
| | 40 | | - | 0,54 | 0,65 | 0,39 |
| | 60 | | - | - | 0,62 | 0,36 |
| | 100 | | - | - | 0,60 | 0,33 |

În cazul instalațiilor electrice de joasă tensiune secțiunile (s), grosimile(g) şi diametrele (d) minime ale electrozilor şi ale conductoarelor de legătură din oțel îngropate în pământ vor fi cele indicate în tabelul A.1.2, conform STAS 12604/5.

Tabelul A.1.2

| Tipul electrodului | Durata de funcționare | | | |
|---|---|---|---|---|
| | mai mică de 10 ani | | mai mare de 10 ani | |
| | pH ≥ 6 | pH < 6 | pH ≥ 6 | pH < 6 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Benzi sau alte profiluri din oțel (cornier T.I-etc) | s = 100 mm$^2$<br>g = 4 mm | nu sunt admise | s = 100 mm$^2$<br>g = 6 mm | nu sunt admise |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| neprotejate | | | | |
| Idem, zincate | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm | s = 100 $mm^2$<br>g = 6 mm | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm | s = 150 $mm^2$<br>g = 6 mm |
| Idem, protejate în strat de bentonită | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm | s = 100 $mm^2$<br>g = 4 mm |
| Țevi din oțel neprotejate | g = 3,5 mm | nu sunt admise | g = 4,5 mm | nu sunt admise |
| Idem, zincate | g = 3,5 mm | g = 3,5 mm | g = 3,5 mm | g = 4,5 mm |
| Idem, protejate În bentonită | g = 3,5 mm | g = 3,5 mm | g = 3,5 mm | g = 3,5 mm |
| Oțel rotund neprotejat | d = 11 mm | nu sunt admise | d = 11 mm | nu sunt admise |
| Idem, zincat | d = 10 mm | d = 10 mm | d = 10 mm | d = 14 mm |
| Idem, protejat în bentonită | d = 10 mm | d = 10 mm | d = 10 mm | d = 10 mm |
| Placă din oțel neprotejată | g = 3 mm | nu sunt admise | g = 4 mm | nu sunt admise |
| Idem, zincată | g = 3 mm | g = 4 mm | g = 3 mm | g = 4 mm |
| Idem, protejată în bentonită | g = 3 mm | g = 3 mm | g = 3 mm | g = 3 mm |
| Oțel rotund protejat prin înglobare în beton | d = 4 mm | d = 8 mm | d = 8 mm | d = 8 mm |

Pentru instalațiile şi echipamentele electrice de înaltă tensiune, secțiunea minimă a electrozilor din oțel pentru prizele de pământ artificiale este de 150 $mm^2$, indiferent de modul de protejare a oțelului sau de agresivitatea solului. Grosimea minimă este conform tabelului A.1.3 în funcție de agresivitatea solului şi de modul de protejare a oțelului împotriva corodării. Fac excepție electrozii protejați prin înglobare în beton, pentru care secțiunea minimă este de 100 $mm^2$.

Tabelul A.1.3

| Nr. crt. | Modul de protejare împotriva coroziunii | Felul electrodului | Grosimea minimă a electrodului, în mm pentru: | |
|---|---|---|---|---|
| | | | pH ≥ 6 | pH < 6 |
| 1 | Neprotejate | profil | 6,0[x)] | nu sunt admise |
| 2 | | țeavă | 4,5[x)] | nu sunt admise |
| 3 | | placă | 4,0[x)] | nu sunt admise |
| 4 | | profil | 4,0 | 5,0 |
| 5 | zincate | țeavă | 3,5 | 4,5 |
| 6 | | placă | 3,0 | 4,0 |
| 7 | în strat de bentonită cu grosime de min 200 cm | profil | 4,0 | 4,0 |
| 8 | | țeavă | 3,5 | 4,0 |
| 9 | | placă | 3,0 | 3,5 |
| 10 | înglobate în beton | profil | 3,0 | 3,0 |
| 11 | | oțel rotund | ∅ 8,0 | ∅ 8,0 |

*) În cazul prizelor de pământ destinate unei funcționări până la 10 ani, grosimile pot avea, respectiv, valorile de 4,0; 3,5 şi 3,0 mm (ca la nr.crt. 4, 5 şi 6).

Secțiunea minimă a electrozilor de cupru pentru prizele de pământ artificiale va fi de 25 $mm^2$ pentru electrozii masivi şi de 35 $mm^2$ pentru conductoarele funie.

Grosimea minimă a electrozilor din cupru va fi de 3 mm pentru bare sau bandă şi de 2 mm pentru plăci. Relațiile de calcul pentru determinarea rezistenței de dispersie $r_p$ a prizei de pământ singulare sunt următoarele:

a) Pentru prizele verticale din țeavă sau oțel rotund cu partea superioară la nivelul suprafeței solului:

$$r_p = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d} \qquad (1.4)$$

în care:

ρ este rezistivitatea solului (în Ωm);

l - lungimea electrodului (în m);
d - diametrul exterior al electrodului (în m).

Dacă lungimea nu depăşeşte valoarea de 6 m, ceea ce în cazurile obişnuite nu are loc, se poate folosi cu suficientă aproximaţie următoarea formulă simplificată:

$$r_p = 0{,}9\frac{\rho}{l} \qquad (1.5)$$

b) Pentru prizele verticale din ţeavă sau oţel rotund, cu partea superioară la o adâncime q faţă de suprafaţa solului (fig.A.1.1)

$$r_p = 0{,}366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right) \qquad (1.6)$$

în care:
t este adâncimea de la suprafaţa solului până la mijlocul electrodului (m).

În figura A.1.1 este reprezentată o priză simplă verticală având partea superioară la nivelul suprafeţei solului (a) şi, respectiv, partea superioară la adâncimea q faţă de suprafaţa solului (b).

În mod obişnuit se folosesc prizele care au partea superioară la o adâncime suficientă faţă de suprafaţa solului, pentru ca rezistenţa $r_p$ să nu fie influenţată de variaţiile agenţilor atmosferici. Din acest punct de vedere, adâncimea q trebuie să fie de cel puţin 0,6 m. Dacă adâncimea q este mai mică de 0,5 m porţiunea de electrod de la partea superioară până la această adâncime nu va fi considerată în calcule. De exemplu, dacă electrodul are o lungime de 3 m şi capătul superior este la o adâncime de 0,2 m faţă de suprafaţa solului, în relaţia rezistenţei $r_p$ se consideră numai lungimea de 2,7 m.

Se va avea în vedere şi faptul că tensiunile de pas scad foarte mult prin creşterea adâncimii q. Această adâncime se măreşte până la 1m şi chiar la 1,2 m, dacă se intenţionează obţinerea unor coeficienţi de pas reduşi.

În figura A.1.2 este reprezentată diagrama de variaţie a rezistenţei $r_p$ în funcţie de lungimea electrodului l, pentru următoarea situaţie: rezistivitatea solului ρ = 100 Ωm, diametrul ţevii uzuale d=0,06 m şi adâncimea q=0,8 m.

Dacă rezistivitatea $\rho'$ a solului este diferită de valoarea de 100 Ωm, pentru aceeaşi situaţie, rezistenţa $r_p'$ a prizei singulare se poate obţine înmulţind valoarea $r_p$ rezultată din figura 7 cu raportul $\frac{\rho'}{100}$;

$$r_p' = r_p \cdot \frac{\rho'}{100}$$

De exemplu, pentru ρ = 100 Ωm, l = 3 m, d = 0,06 m şi q = 0,08m; rezultă din diagramă $r_p$ = 25 Ω.

Pentru acelaşi electrod, dacă rezistivitatea solului este ρ = 200 Ωm, rezistenţa de dispersie a prizei va fi:

$$r_p' = r_p \cdot \frac{200}{100} = 50\,\Omega$$

Relaţia rezistenţei $r_p$ se poate scrie şi sub forma:

$$r_p = \frac{\rho}{k},$$

unde:

$$k = \frac{l}{0{,}366\lg\frac{2l}{d}\sqrt{\frac{4t+l}{4t-l}}}$$

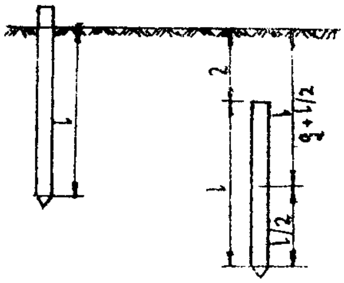


Figura A.1.1- Priză simplă verticală:
a)- având partea superioară la nivelul solului;
b)- având partea superioară la adâncimea q față de suprafață

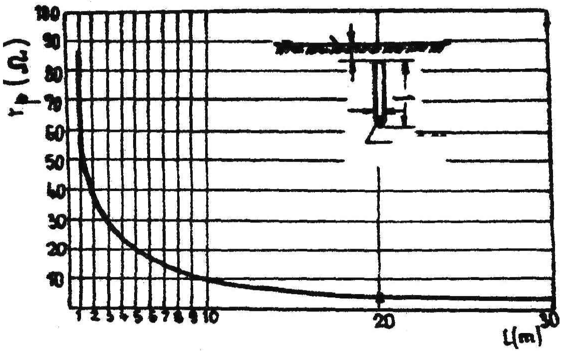


Figura A.1.2- Valorile rezistenței $r_p$ în funcție de lungimea electrodului din țeavă îngropat vertical pentru ρ = 100 Ωm.

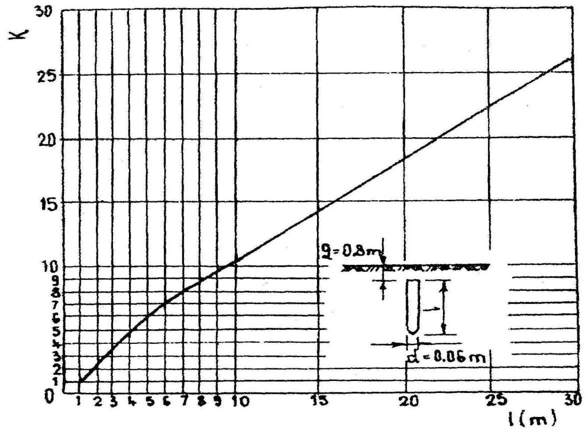



Figura A.1.3- Valorile k în funcție de lungimea electrodului din țeavă, îngropat vertical.

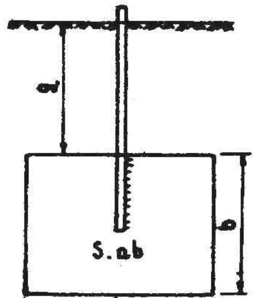



Figura A.1.4- Priză simplă cu electrod din placă, având partea superioară la adâncimea q față de suprafața solului.

În figura A.1.3 este reprezentată diagrama de variație a valorii k în funcție de lungimea l, pentru d = 0,06 m şi q = 0,8 m.

Dacă se cunoaste k, se poate obține cu mai multă uşurință valoarea $r_p$ în funcție de rezistivitatea solului.

De exemplu, dacă l = 2,5 m, rezultă din diagramă k = 3,4. Pentru o rezistivitate ρ = 200 Ωm din relația de mai sus, se obține:

$$r_p = \frac{200}{3,4} = 58,8\,\Omega$$

În tabelul A.1.4 se dau valorile rezistențelor $r_p$ pentru prizele verticale din țeavă cu diametrul exterior d = 0,06 m, în funcție de rezistivitatea ρ a solului şi de lungimea electrodului pentru două valori q.

c) Pentru prizele verticale cu electrozi din alte profiluri de oțel (cu secțiunea pătrată sau dreptunghiulară, cornier, T, I, U) se folosesc aceleaşi formule ca şi pentru prizele din țevi, înlocuind diametrul d cu următoarele mărimi:

- pentru secțiunea dreptunghiulară, având latura mare b (lățimea electrodului) (d=b/2);
- pentru cornierul cu latura cea mai mică b (d=b);
- pentru profil T cu lățimea a (d=a);
- pentru profil I cu înălțimea h (d=h/2);
- pentru profil U cu înălțimea tălpii b (d=b).

d) Pentru prizele verticale din placă (aceasta fiind îngropată în poziție verticală) cu partea superioară la o adâncime q față de suprafața solului (figura 9).

$$r_p = 0,25\frac{\rho}{\sqrt{S}} \qquad (1.7)$$

La placă pătrată $r_p = 0,25\frac{\rho}{a}$

unde:

ρ este rezistivitatea solului (Ωm);

S - suprafața plăcii ($m^2$);

a - latura plăcii (m).

Această relație constituie o formă simplificată a unei formule mai dezvoltate; ea prezintă însă o aproximație acceptabilă pentru practică.

În figura A.1.4 este prezentată o priză simplă cu electrod din placă, având partea superioară la adâncimea q față de suprafața solului.

Este indicat ca în solurile obişnuite, argiloase, adâncimea de îngropare q să fie de cel puțin 1m.

e) Pentru prizele orizontale cu electrozi din țeavă sau profil rotund, aşezate orizontal la nivelul solului (pe suprafața pământului - figura A.1.5):

$$r_p = 0,732\frac{\rho}{l}\cdot \lg\frac{l^2}{d} \qquad (1.8)$$

unde notațiile au semnificațiile din relațiile anterioare.

f) Pentru prizele orizontale cu electrozi din țeavă sau profil rotund, îngropate orizontal la adâncimea t față de suprafața solului:

$$r_p = 0,366\frac{\rho}{l}\cdot \lg\frac{l^2}{td} \qquad (1.9)$$

Dacă lungimea electrodului este de 10 şi 25 m, iar diametrul d = 14 şi 25 mm, se poate folosi următoarea formulă simplificată, care prezintă o aproximare acceptată pentru practică:

$$r_p = 2\cdot\frac{\rho}{l} \qquad (1.10)$$

**Tabelul A.1.4**

**Rezistența $r_p$ a prizelor simple, verticale, din țeavă cu diametrul exterior d = 0,06 m**

| Rezistența solului ρ Ωm | Rezistența $r_p$ a prizei, Ω | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lungimea electrodului, m | | | | | | | | | | | |
| | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 20 | 30 |
| | a)q = 0 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 23,9 | 19,5 | 16,2 | 14,0 | 12,4 | 11,0 | 9,38 | 7,95 | 6,25 | 5,17 | 2,875 | 2,0 |
| 100 | 47,8 | 39 | 32,4 | 28 | 24,8 | 22 | 18,7 | 15,9 | 12,5 | 10,35 | 5,75 | 4 |
| 150 | 71,1 | 58,5 | 48,6 | 42 | 37,2 | 33 | 28 | 23,85 | 18,75 | 15,5 | 8,63 | 6 |
| 200 | 95,6 | 78 | 64,8 | 56 | 49,6 | 44 | 37,5 | 31,8 | 25 | 20,7 | 11,5 | 8 |
| 300 | 140,4 | 117 | 97,2 | 84 | 74,4 | 66 | 56 | 47,7 | 37,5 | 31,05 | 17,25 | 12 |
| 500 | 239 | 195 | 162 | 140 | 124 | 110 | 93,8 | 79,5 | 62,5 | 51,7 | 28,75 | 20 |
| 1000 | 478 | 390 | 324 | 280 | 248 | 220 | 187 | 159 | 125 | 103,5 | 57,5 | 40 |
| | b)q= 0,8 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 22,8 | 17,8 | 14,7 | 12,3 | 11,6 | 10,4 | 8,75 | 7,55 | 5,96 | 5 | 2,69 | 1,97 |
| 100 | 45,6 | 35,6 | 29,4 | 24,6 | 23,2 | 20,8 | 17,50 | 15,10 | 11,92 | 10 | 5,37 | 3,94 |
| 150 | 68,4 | 53,4 | 44,1 | 36,9 | 34,8 | 31,2 | 26,25 | 22,65 | 17,8 | 15 | 8,05 | 5,9 |
| 200 | 91,2 | 71,2 | 58,8 | 49,2 | 46,4 | 41,6 | 35 | 30,20 | 23,84 | 20 | 10,74 | 7,88 |
| 300 | 136,8 | 106,8 | 88,2 | 73,8 | 69,6 | 62,4 | 35,50 | 45,3 | 35,76 | 30 | 16,1 | 11,82 |
| 500 | 228 | 178 | 147 | 123 | 116 | 104 | 87,5 | 75,5 | 59,60 | 50 | 26,9 | 19,70 |
| 1000 | 456 | 356 | 294 | 246 | 232 | 208 | 175 | 151 | 119 | 100 | 53,7 | 39,40 |

Adâncimea de îngropare a prizelor orizontale trebuie să fie de cel puțin 0,5 m, pentru a nu fi influențate simțitor de variațiile condițiilor atmosferice. Prizele orizontale de dirijare a distribuției potențialelor, pozate pentru micşorarea tensiunilor de atingere, pot avea şi adâncimi mai mici.

Figura A.1.6 reprezintă o priză orizontală cu electrod inelar la nivelul suprafeței solului (a), îngropat la adâncimea t față de suprafața solului (b).

De regulă, electrozii prizelor orizontale se îngroapă la o adâncime de 0,6 - 0,8 m.

În figura A.1.7 este prezentată diagrama de variație a rezistenței $r_p$ în funcție de lungimea electrodului l, pentru ρ = 100 Ωm, d = 0,014 m şi t = 0,6 m. Pentru alte rezistivități ρ` rezistența $r_p^`$ se obține cu ajutorul relației $r_p^` = r_p \frac{ρ^`}{100}$.

În figura A.1.8 este prezentată diagrama de variație a valorii K în funcție de lungimea l, pentru d = 0,014 m şi t = 0,6 m. Cunoscându-se K, rezistența $r_p$ se obține din relația $r_p = \frac{ρ}{K}$,

în care: $$K = \frac{l}{0{,}366 \lg \frac{l^2}{td}}$$

În tabelul A.1.5 se dau valorile rezistențelor $r_p$ ale prizelor orizontale cu electrod rotund dispuse sub formă de bandă rectilinie, la adâncimea t = 0,6 m, în funcție de rezistivitatea solului şi de lungimea electrodului pentru două valori ale diametrului.

În figura A.1.7 sunt prezentate valorile rezistenței $r_p$ în funcție de lungimea electrodului din profil rotund, îngropat orizontal.

g) Pentru prizele orizontale cu electrozi din alte profiluri (bandă lată cu secțiunea dreptunghiulară, cornier, T, I, U etc.) se folosesc aceleaşi formule ca pentru prizele din țevi sau profil rotund, înlocuind diametrul d cu mărimile indicate la punctul "c" privind prizele verticale.

În figura A.1.8 sunt prezentate valorile K în funcție de lungimea electrodului rotund îngropat orizontal.

h) Pentru prizele inelare cu un electrod de secțiune circulară (țeavă sau profil rotund), aşezat orizontal la nivelul suprafeței solului (figura A.1.8).

$$r_p = 0{,}732 \frac{ρ}{l} \lg \frac{8l}{πd} = 0{,}732 \frac{ρ}{l}\left(\lg \frac{2l}{d} + 0{,}1055\right) \qquad (1.11)$$

în care:

l este lungimea inelului (electrodului);

d - diametrul electrodului.

Este de remarcat faptul că față de relația pentru electrozii liniari, în formula pentru electrozii inelari mai apare şi coeficientul 0,1055 care exprimă ecranarea datorită faptului că electrodul este în contur închis (inel).

i) Pentru prizele inelare cu un electrod de secțiune circulară (țeavă sau oțel rotund), îngropat orizontal la adâncimea t față de suprafața solului (figura A.1.6):

$$r_p = 0{,}366 \frac{ρ}{l} \lg \frac{4l^2}{πdt} = 0{,}366 \frac{ρ}{l}\left(\lg \frac{l^2}{td} + 0{,}1055\right) \qquad (1.12)$$

În tabelul A.1.6 sunt prezentate valorile rezistențelor $r_p$ ale prizelor orizontale cu electrod rotund, dispus sub formă de inel la adâncimea t = 0,6 m, în funcție de rezistivitatea solului şi de lungimea electrodului l = πD, unde D este diametrul inelului pentru două valori ale diametrului.

j) Pentru prizele inelare cu electrozi din alte profiluri de oțel se folosesc relațiile de mai sus, în care se înlocuieşte diametrul d cu mărimile indicate la punctul "c" al acestui paragraf. De exemplu, pentru electrozii din banda de oțel cu secțiunea dreptunghiulară având lățimea b, relațiile devin:

$$r_p = 0{,}732 \frac{ρ}{l} \lg \frac{16l}{πb} = 0{,}732 \frac{ρ}{l}\left(\lg \frac{4l}{b} + 0{,}1055\right) \qquad (1.13)$$

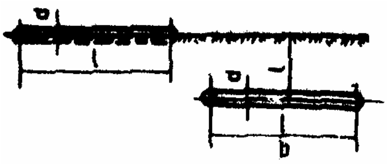


Figura A.1.5- Priză simplă orizontală, cu electrod din oțel rotund.

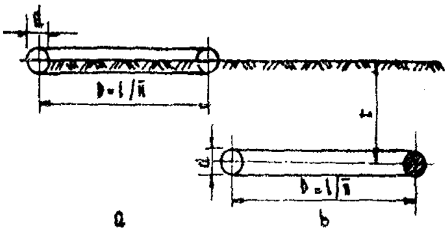


Figura A.1.6- Priză orizontală cu electrod inelar
a)- la nivelul suprafeței solului
b)- îngropat la adâncimea S față de suprafața solului

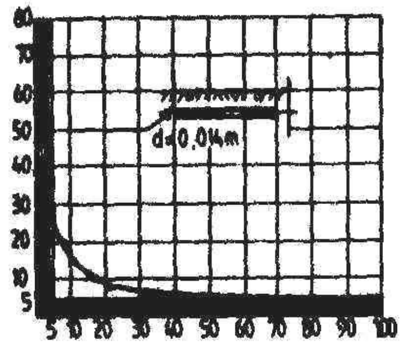



Figura A.1.7- Valorile rezistenței $r_p$ în funcție de lungimea electrodului cu profil rotund, îngropat orizontal.

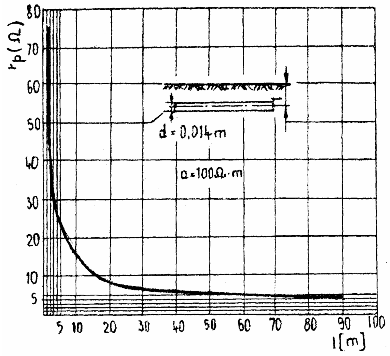



Figura A.1.8- Valorile k în funcție de lungimea electrodului rotund îngropat orizontal.

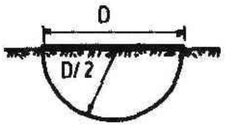



Figura A.1.9- Priză simplă cu electrod semisferic.

**Tabelul A.1.5**

**Rezistențele $r_p$ a prizelor simple, orizontale, cu electrod rotund dispus sub formă de bandă rectilinie, la o adîncime d = 0,6 m**

| Rezistența solului ρ Ωm | Rezistența $r_p$ a prizei, Ω | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lungimea electrodului, m | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| | a) Diametrul exterior al electrodului d = 0,014 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 38 | 18,5 | 12,7 | 8,85 | 7,45 | 5,4 | 4,27 | 3,06 | 2,39 | 1,9 | 1,42 | 1,11 |
| 100 | 76 | 37 | 25,4 | 17,70 | 14,90 | 10,8 | 8,55 | 6,15 | 4,78 | 3,8 | 2,84 | 2,22 |
| 150 | 114 | 55,5 | 38,1 | 26,55 | 22,4 | 16,2 | 12,8 | 9,2 | 7,16 | 5,7 | 4,26 | 3,33 |
| 200 | 152 | 74 | 50,8 | 35,40 | 29,80 | 21,6 | 17,1 | 12,26 | 9,56 | 7,6 | 5,68 | 4,44 |
| 300 | 228 | 111 | 76,2 | 53,1 | 44,8 | 32,4 | 25,6 | 18,4 | 14,3 | 11,5 | 8,5 | 6,66 |
| 500 | 380 | 185 | 127 | 88,5 | 74,5 | 54 | 42,7 | 30,6 | 23,9 | 19 | 14,2 | 11,10 |
| 1000 | 760 | 370 | 254 | 177 | 149 | 108 | 85,5 | 61,3 | 47,8 | 38 | 28,4 | 22,20 |
| | b) Diametrul exterior al electroului d = 0,022 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 34,5 | 17,2 | 11,6 | 8,4 | 7,1 | 5,15 | 3,91 | 2,95 | 2,32 | 1,93 | 1,38 | 1,08 |
| 100 | 69,0 | 34,4 | 23,2 | 16,8 | 14,2 | 10,30 | 7,83 | 5,90 | 4,65 | 3,85 | 2,76 | 2,16 |
| 150 | 93,5 | 51,6 | 34,8 | 24,2 | 21,3 | 15,45 | 11,74 | 8,85 | 6,97 | 5,79 | 4,14 | 3,24 |
| 200 | 138 | 68,8 | 46,4 | 33,6 | 28,4 | 20,6 | 15,66 | 11,8 | 9,3 | 7,72 | 5,52 | 4,32 |
| 300 | 187 | 103,2 | 69,6 | 48,4 | 42,6 | 30,9 | 23,48 | 17,7 | 13,95 | 11,58 | 8,28 | 6,48 |
| 500 | 345 | 172 | 116 | 84 | 71 | 51,5 | 39,1 | 29,5 | 23,2 | 19,3 | 13,8 | 10,80 |
| 1000 | 690 | 344 | 232 | 169 | 142 | 103 | 78,3 | 59 | 46,5 | 38,6 | 27,6 | 21,60 |

**Tabelul A.1.6**

**Rezistențele $r_p$ a prizelor de pămînt simple, orizontale, cu electrod rotund dispus în formă de inel, la o adîncime t = 0,6 m**

| Rezistența solului ρ Ωm | Rezistența $r_p$ a prizei, Ω | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lungimea electrodului (inelului) = π D, m | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| | a) Diametrul exterior al electrodului d = 0,014 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 40 | 19,1 | 12,85 | 9,15 | 7,66 | 5,5 | 4,38 | 3,12 | 2,47 | 2,04 | 1,45 | 1,13 |
| 100 | 80 | 38,2 | 25,6 | 18,3 | 15,3 | 11 | 8,70 | 6,25 | 4,92 | 4,08 | 2,9 | 2,26 |
| 150 | 120 | 57,3 | 38,6 | 27,4 | 23 | 16,5 | 13,1 | 9,4 | 7,4 | 6,12 | 4,35 | 3,4 |
| 200 | 160 | 76,4 | 51,4 | 36,6 | 30,6 | 22 | 17,5 | 12,5 | 9,84 | 8,16 | 5,8 | 4,52 |
| 300 | 240 | 114,6 | 77,2 | 54,8 | 46 | 33 | 26,2 | 18,8 | 14,8 | 12,24 | 8,7 | 6,8 |
| 500 | 400 | 191 | 128,5 | 91,5 | 76,6 | 55 | 43,8 | 31,2 | 24,6 | 20,4 | 14,5 | 11,3 |
| 1000 | 800 | 382 | 257 | 183 | 153 | 110 | 87,5 | 62,5 | 49,2 | 40,8 | 29,0 | 22,6 |
| | b) Diametrul exterior al electroului d = 0,022 m | | | | | | | | | | | |
| 50 | 36,4 | 17,95 | 12 | 8,65 | 7,3 | 5,3 | 4 | 3,1 | 2,375 | 1,97 | 1,4 | 1,1 |
| 100 | 72,8 | 35,9 | 24 | 17,30 | 14,6 | 10,6 | 8 | 6,3 | 4,75 | 3,94 | 2,8 | 2,2 |
| 150 | 109 | 53,85 | 36 | 26 | 21,9 | 15,9 | 13 | 9,4 | 7 | 5,9 | 4,2 | 3,3 |
| 200 | 145,6 | 71,8 | 48 | 34,6 | 29,2 | 21,2 | 16 | 12,6 | 9,5 | 7,88 | 5,6 | 4,4 |
| 300 | 218 | 117,7 | 72 | 51,9 | 43,8 | 31,8 | 24 | 18,9 | 14 | 11,8 | 8,4 | 6,6 |
| 500 | 364 | 179 | 120 | 86,5 | 73 | 53 | 10 | 31 | 23,8 | 19,7 | 14 | 11 |
| 1000 | 728 | 359 | 240 | 173 | 146 | 106 | 80 | 63 | 47,5 | 39,4 | 28 | 22 |

şi

$$r_p = 0,366\frac{\rho}{l}\lg\frac{8l^2}{\pi bt} = 0,366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l^2}{bt} + 0,1055\right) \qquad (1.14)$$

k) Pentru prizele din plăci aşezate orizontal pe suprafaţa solului:

$$r_p = 0,444\frac{\rho}{\sqrt{S}} \qquad (1.15)$$

În cazul plăcilor pătrate cu latura a, această relaţie devine $r_p = 0,444\frac{\rho}{a}$, iar în cazul plăcilor circulare $r_p = \frac{\rho}{2D}$, unde D este diametrul plăcii.

Aceste formule se folosesc în special la prizele de pământ cu plăci aşezate la nivelul suprafeţei solului, cum ar fi plăcile metalice îngropate la adâncime mică pentru dirijarea distribuţiei potenţialelor, plăcile de beton armat etc.

i) Pentru priza cu electrod semisferic având diametrul D (fig.A.1.9)

Figura A.1.9 prezintă o priză simplă cu electrod semisferic:

$$r_p = \frac{\rho}{\pi D} \qquad (1.16)$$

Această relaţie se foloseşte, de asemenea, pentru determinarea unor prize, de cele mai multe ori naturale (de exemplu: fundaţii de beton armat) care se pot asimila cu un electrod semisferic.

În tabelele A.1.7, A.1.8 şi A.1.9 se prezintă relaţiile de calcul ale rezistenţelor prizelor de pământ de diferite forme în sol omogen cu rezistivitatea ρ, conform STAS 12604/5-90.

Tabelul A.1.7

Calculul rezistenţelor pentru prize simple verticale conform STAS 12604/5-90

| Felul electrodului prizei simple verticale | Formula de calcul a rezistenţei de dispersie a prizelor simple verticale |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Ţeavă cu partea superioară la nivelul suprafeţei solului şi diametrul ţevii mult mai mic decât lungimea ei, d≤l | $r_{pv} = 0,366\frac{\rho}{l}\lg\frac{4l}{d}$ <br> $r_{pv} = 0,9\frac{\rho}{l}$ *) |
| Ţeavă îngropată la adâncimea t: t = q +l/2 | $r_{pt} = 0,366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$ |
| Bară cu secţiunea dreptunghiulară: - la nivelul solului; | $r_{pv} = 0,366\frac{\rho}{l}\lg\frac{8l}{b}$ |
| - îngropată la adâncimea t: t = q + l/2 | $r_{pt} = 0,366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{4l}{b} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$ |
| Placă de formă neregulată îngropată la adâncimea t: t = q +b/2 | $r_{pt} = \frac{\rho}{8\sqrt{\frac{S}{\pi}}}\left(1 + \frac{2}{\pi}\arcsin\sqrt{\frac{\frac{S}{\pi}}{4t^2 + \frac{S}{\pi}}}\right)$ |

| | |
|---|---|
| Placă pătrată îngropată la adâncimea:<br>t = q +a/2 | $r_{pt} = 0{,}222\frac{\rho}{a}\left(1 + 0{,}637\,\text{arc sin}\sqrt{\frac{1}{1+\pi\left(1+\frac{2q}{2}\right)^2}}\right)$<br><br>$r_{pt} = 0{,}25\frac{\rho}{a}$ **) |
| Placă circulară îngropată la adâncimea:<br>t = q + D/2 | $r_{pt} = 0{,}25\frac{\rho}{D}\left(1 + 0{,}637\,\text{arc sin}\sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{4t}{D}\right)^2}}\right)$ |

în care:

- $\rho$ este rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm;
- l - lungimea electrodului, în m;
- b - lățimea barei, în m;
- d - diametrul exterior al țevii, în m;
- q - distanța de la partea superioară a electrodului până la suprafața solului, în m;
- S - aria unei fețe a plăcii, în $m^2$;
- a - latura plăcii pătrate, în m;
- D - diametrul plăcii circulare, în m;
- $r_{pv}$ - rezistența de dispersie a prizei simple având partea superioară la nivelul suprafeței solului;
- $r_{pt}$ - rezistența de dispersie a prizei simple având partea superioară la adâncimea q.

*) formulă simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru l =1 - 6 m

**) formulă simplificată cu aproximație acceptabilă.

Tabelul A.1.8

Calculul rezistențelor pentru prizele orizontale, conform STAS 12604/5-90

| Felul electrodului prizei simple orizontale | Formula de calcul a rezistenței de dispersie a prizelor simple orizontale |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Țeavă (sau profil rotund) aşezată orizontal la nivelul suprafeței solului | $r_{po} = 0{,}732\frac{\rho}{l}\lg\frac{2l}{d}$ |
| Țeavă (sau profil rotund) îngropată orizontal la adâncimea q | $r_{pq} = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\frac{l^2}{qd}$<br><br>$r_{pq} = 2\frac{\rho}{l}$ *) |
| Bară cu secțiune dreptunghiulară aşezată:<br>- la suprafață; | $r_{po} = 0{,}732\frac{\rho}{l}\lg\frac{4l}{b}$ |
| - la adâncimea q; | $r_{pq} = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\frac{2l^2}{bq}$ |
| Electrod inelar cu secțiune circulară aşezat orizontal:<br>- la suprafață; | $r_{po} = 0{,}732\frac{\rho}{l}\lg\frac{8l}{\pi d}$ |
| - la adâncimea q; | $r_{pq} = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\frac{4l^2}{\pi qd}$ |

| | |
|---|---|
| Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară aşezar:<br>- la suprafață; | $r_{po} = 0{,}732\frac{\rho}{l}\lg\frac{16l}{\pi b}$ |
| - la adâncimea q; | $r_{pq} = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\frac{8l^2}{\pi bq}$ |
| Placă aşezată pe suprafața solului | $r_{po} = 0{,}44\frac{\rho}{\sqrt{S}}$ |
| Placă circulară aşezată pe suprafața solului | $r_{po} = \frac{\rho}{2D}$ |
| Electrod semisferic îngropat, cu o suprafață circulară (bază) la nivelul suprafeței solului | $r_{po} = \frac{\rho}{\pi D}$ |

în care:

$r_{po}$ este rezistența de dispersie a prizei simple la suprafața solului;
$r_{pq}$ - rezistența de dispersie a prizei simple la adâncimea q;
ρ - rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm;
d - diametrul electrodului, în m;
b - lățimea barei, în m;
l - lungimea electrodului, în m;
S - suprafața plăcii, în $m^2$;
D - diametrul plăcii, în m;
q - adâncimea de Îngropare a prizei orizontale, în m.
*) formulă simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru l = 10 - 25m şi d ≅ 0,016m.

În toate relațiile de mai sus ρ reprezintă rezistivitatea de calcul a solului, care este diferită de rezistivitatea măsurată $\rho_{mas}$. Pentru obținerea rezistivității de calcul ρ, se înmulțeşte rezistivitatea $\rho_{mas}$ cu coeficientul de variație ψ dat în tabelul A.1.10, în funcție de starea de umiditate a pământului şi de adâncimea de îngropare a electrozilor:

$$\rho = \rho_{mas} \cdot \psi$$

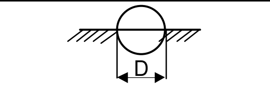
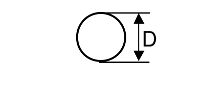
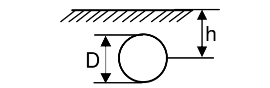
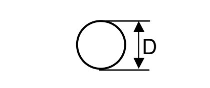
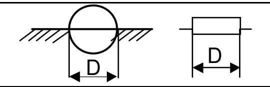
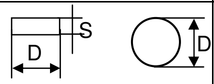
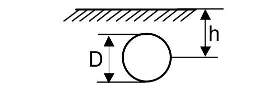
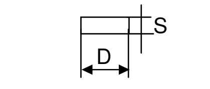
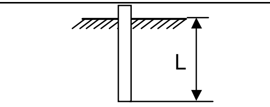
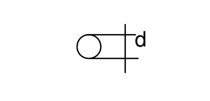
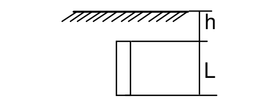
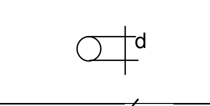
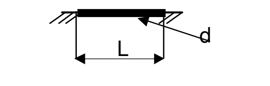
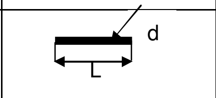
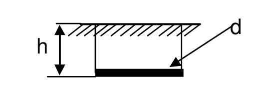
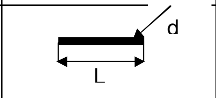
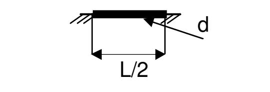
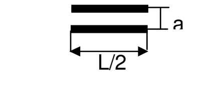
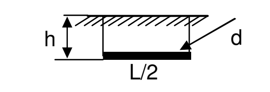
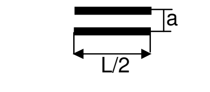
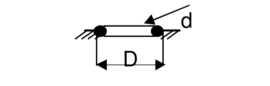
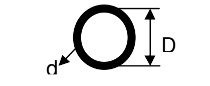
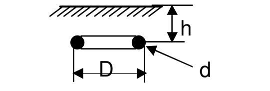
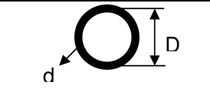
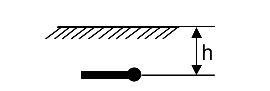
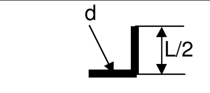
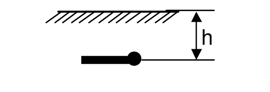
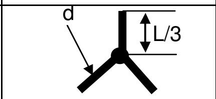
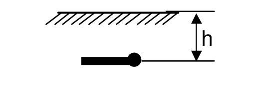
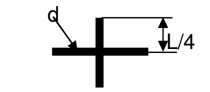
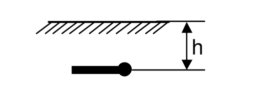
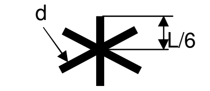
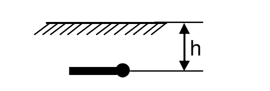
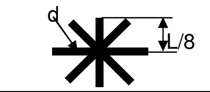
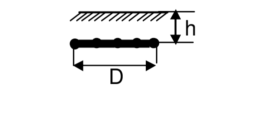
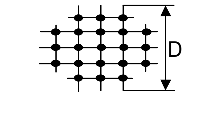
Se observă că acei coeficienți care corespund stării umede sunt mai mari decât cei care corespund stării uscate a solului.

Dacă se iau în considerație coeficienții de variație ψ pentru obținerea valorii maxime a lui ρ nu este necesar să se execute măsurarea rezistivității solului numai în perioada de vară secetoasă.

De exemplu, dacă se intenționează să se execute o priză de pământ cu electrozi verticali la adâncimi de îngropare ce depăşesc 0,8 m, iar măsurarea s-a făcut când solul este foarte umed (măsurările au fost precedate de ploi bogate), din tabelul A.1.10 rezultă un coeficient ψ = 1,5. Presupunând că la măsurare a rezultat o rezistivitate $\rho_{mas}$ = 75 Ωm, în calcule se va considera $\rho = \rho_{mas} \cdot \psi = 75 \times 1{,}5 = 112{,}5$ Ωm. Dacă în acest exemplu, la dimensionarea prizei se consideră drept electrozi ai prizei şi benzile de legătură dintre electrozii verticali, la calculul rezistenței de dispersie a acestor prize orizontale care au adâncimea de îngropare între 0,5 şi 0,8 m se va lua din tabelul A.1.10 ψ = 3, rezultând pentru benzile orizontale de legătură ρ = 75 × 3 = 225 Ωm.

Tabelul A.1.9

Calculul simplificat al rezistențelor pentru prize de pământ de diferite forme, în sol omogen cu rezistivitatea ρ

| Tipul electrodului | Vedere laterală | Vedere de sus | Formula de calcul |
|---|---|---|---|
| Sfera la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{\pi D}$ |
| Sfera îngropată |  |  | $R = \frac{\rho}{\pi D}\left(0{,}5 + \frac{D}{8h}\right)$ 1) |
| Placa la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{2D}$ 2) |
| Placa îngropată |  |  | $R = \frac{\rho}{2D}\left(0{,}5 + \frac{D}{4\pi h}\right)$ 2) ; 3) |
| Electrod vertical la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\mathrm{Ln}\frac{8L}{D} - 1\right) = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{4L}{1{,}36 \cdot d}$ 4) |
| Electrod vertical îngropat |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{4L}{1{,}36d} \cdot \frac{2h+L}{4h+L}$ 4) |
| Banda la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{\pi L}\mathrm{Ln}\frac{2L}{1{,}36 \cdot d}$ 4) |
| Banda îngropată |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{1{,}85 \cdot hd}$ 5) |
| Două benzi la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{2 \cdot 1{,}85 \cdot da}$ 6) |
| Două benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^4}{16 \cdot 3{,}42hdaA}; \quad A = \sqrt{a^2 + 4h^2}$ |
| Inel la suprafață |  |  | $R = \frac{\rho}{\pi^2 D}\mathrm{Ln}\frac{8D}{d} = \frac{\rho}{\pi L}\mathrm{Ln}\frac{2L}{0{,}785 \cdot d}$ 4) |
| Inel îngropat |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\mathrm{Ln}\frac{16D^2}{hd} = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{0{,}617 \cdot hd}$ 5) |
| Două benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{1{,}27 \cdot hd}$ 5) |
| Trei benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{0{,}767 \cdot hd}$ 5) |
| Patru benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2}{0{,}217 \cdot hd}$ 5) |
| Şase benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2 \cdot 10^3}{9{,}42 \cdot hd}$ 5) |
| Opt benzi îngropate |  |  | $R = \frac{\rho}{2\pi L}\mathrm{Ln}\frac{L^2 \cdot 10^4}{2{,}69 \cdot hd}$ 5) |
| Grătar (grilă) îngropat |  |  | $R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$ 7) |

1) $D < h$ 2) $S << D$ 3) $D < 2h$ 4) $d << L$ 5) $d << 4h << L/n$ 6) $d << a << L/n$ 7) $h << D$

Tabelul A.1.10

Coeficienții de variație ψ a rezistivității solului

| Nr. crt. | Adâncimea de îngropare a electrozilor h (m) | Starea solului în momentul măsurării | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Foarte umed | Cu umiditate mijlocie | Uscat |
| 1 | 0,3 <h ≤ 0,5 m | 6,5 | 5 | 3,5 |
| 2 | 0,5 <h ≤ 0,8 m | 3 | 2 | 1,5 |
| 3 | 0,8 <h ≤ 4 m | 1,5 | 1,3 | 1,1 |
| 4 | h > 4 m | 1,2 | 1,1 | 1,0 |

Acelaşi lucru se poate spune şi în cazul verificării rezistenței prizei de pământ. Chiar dacă s-ar intenționa să se măsoare primăvara, nu există siguranța că în momentul măsurării priza prezintă rezistența cea mai mare. Mai rațional este să se stabilească starea de umiditate a solului la măsurare, iar valoarea determinată să se înmulțească cu coeficientul ψ:

$$R_p = R_{p_{mas}} \cdot \psi \qquad (1.18)$$

Se consideră valoarea ψ corespunzătoare electrozilor care au contribuția cea mai mare la determinarea rezistenței de dispersie rezultantă a prizei de pământ complexe.

Valoarea $R_p$ astfel obținută va fi sub limita maximă admisă.

De exemplu, rezistența prizei de pământ trebuie să fie $R_p$ = 4Ω. La verificare, solul avea umiditate medie, iar rezistența a rezultat $R_{p\ mas}$ = 3,0 Ω.

Dacă priza este construită cu electrozi verticali cu adâncimea de îngropare peste 0,8 m, din tabelul A.1.10 rezultă ψ = 1,3 şi deci, rezistența de dispersie corespunde, deoarece:

$$R_p = R_{p_{mas}} \cdot \psi = 3,0 \times 1,3 = 3,9 < 4\ \Omega.$$

Dacă nu se dispune de rezultatele unor măsurări directe ale rezistivității solului, pentru calcule prealabile, în relațiile rezistențelor de dispersie se pot folosi valorile din STAS 12604/5-90, în funcție de natura solului, precizată prin referatul geotehnic. Totodată, este necesar să se măsoare rezistența obținută după executarea prizei.

La dimensionarea instalațiilor de legare la pământ de mare extindere pentru centrale, stații, puncte de alimentare şi posturi de transformare, se vor determina în prealabil rezistivitățile de calcul ale straturilor solului din terenul în care se îngroapă electrozii prizelor. Valorile rezistivităților diferitelor straturi vor fi predate proiectantului o dată cu studiul (referatul) geotehnic pentru obiectul respectiv. În acest studiu (referat) vor fi cuprinse rezistivitățile de calcul pentru straturile până la o adâncime de 20 m, însă cel puțin 2 straturi (de la suprafața solului în adâncime) şi pentru cel puțin 40 puncte diferite de pe suprafața teritoriului respectiv. De asemenea, se va indica rezistivitatea medie de calcul cel puțin a structurilor până la o adâncime de 5m. În cazul centralelor electrice şi a stațiilor de 400 kV trebuie să se determine totdeauna rezistivitatea solului prin măsurări.

A.1.5. Pentru cazul prizelor de pământ multiple orizontale cu electrozi dispuşi radiali sau sub formă de benzi paralele, coeficienții de utilizare sunt indicați în STAS 12604/5-90.

Dacă conductoarele de legătură dintre prizele verticale sunt considerate prize orizontale, constituind astfel, împreună cu cele verticale o priză complexă, atât coeficienții de utilizare pentru prizele verticale cât şi cei pentru prizele orizontale se vor lua din tabelul A.1.1 din prezenta lucrare.

A.1.6. Prizele de pământ orizontale, destinate dirijării distribuției potențialelor, împreună cu diferitele prize naturale cu care sunt în contact electric (construcții de beton armat, conducte, învelişuri metalice ale cablurilor etc, aflate pe întinderea respectivă), constituie o priză complexă, care se poate asimila pentru calculele acoperitoare privind rezistența de trecere la pământ cu o priză dintr-o placă aşezată pe suprafața solului şi având dimensiunile suprafeței ocupate cu prizele pentru dirijarea distribuției potențialelor, folosindu-se relația:

$$R_{pd} = 0,444 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} \qquad (1.19)$$

unde:

ρ este rezistivitatea solului (Ωm);

S - suprafaţa ($m^2$).

Pentru calcularea rezistenţei de trecere la pământ a prizei de pământ complexe în care se include şi o priză de pământ artificială, se consideră un coeficient de utilizare η = 0,8 şi, deci, relaţia de mai sus devine:

$$R_{pd} = 0{,}56 \frac{\rho}{\sqrt{S}} \qquad (1.20)$$

A.1.7. Pentru aprecierea rezistenţei de trecere la pământ a prizelor de pământ naturale, acestea se asimilează cu prizele de pământ artificiale de forme asemănătoare, folosindu-se formulele de calcul din STAS 12604/5-90, pentru prizele singulare şi cele indicate mai sus pentru prizele multiple sau complexe.

A.1.8. În cazul construcţiilor de beton armat în contact cu pământul, pentru un calcul acoperitor, fie că se va majora cu 25 % rezistenţa rezultată, considerând dimensiunile reale ale acestora, fie că dimensiunile considerate în relaţiile folosite se vor obţine scăzându-se grosimea betonului dintre armătura metalică periferică si sol.

Exemple:

- O fundaţie de beton armat, în forma unui paralelipiped, cu diferenţe relativ mici între dimensiunile acestuia, se poate asimila cu un electrod semisferic având un diametru echivalent.
- Un pilon de beton armat se poate asimila cu un electrod vertical având capătul superior la suprafaţa solului (se consideră lungimea porţiunii îngropate a pilonului).
- Mai multe prize naturale care ocupă o anumită suprafaţă (conducte metalice, fundaţii de beton armat, învelişuri metalice ale unor cabluri, etc.) constituie o priză completă care se poate asambla cu o priză dintr-o placă aşezată pe suprafaţa solului.
- Conductele metalice se pot asimila cu prizele orizontale de suprafaţă.

Rezistenţa de trecere la pământ a unei prize de pământ, constituită dintr-un obiect lung în contact cu pământul (conducte, şine de cale ferată, învelişuri metalice ale unor cabluri etc.), se poate determina cu relaţia:

$$R_p = \sqrt{r \cdot r_p} \cdot \mathrm{ctgh}\left(\sqrt{\frac{r}{r_p}}\, l\right) \qquad (1.21)$$

unde:

r este rezistenţa longitudinală pe unitatea de lungime (Ω/km);

$r_p$ - rezistenţa de trecere la pământ pe unitatea de lungime (Ω.km), în cazul unui electrod lung, orizontal, de secţiune circulară, având expresia:

$$r_p = 0{,}732 \cdot \frac{\rho}{10^3} \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^3}{d}$$

în care:

d reprezintă diametrul electrodului (conductă, cablu etc.), în m;

l - lungimea electrodului (km).

Din relaţia (1.7) rezultă că începând de la o anumită lungime, rezistenţa de dispersie tinde lent către o anumită valoare limită.

În cazul cablurilor cu manta de plumb, această valoare limită este de ≈ 1,6 - 1,9 Ω.

La această valoare se ajunge practic cu o lungime de cablu de 1,5 km; la lungimi ale cablurilor de peste 500 m rezistenţa de dispersie scade foarte încet, deoarece la astfel de lungimi reactanţa inductivă longitudinală prezintă valori însemnate.

Nu pot fi folosite drept prize de pământ naturale cablurile cu manta de aluminiu şi nici cele cu manta de plumb, dacă au înveliş exterior din PVC.

Prin obiectul lung va trece un curent:

$$I_{pc} = U_p \cdot \frac{1}{\sqrt{r \cdot r_p} \cdot \mathrm{ctgh}\left(\sqrt{\frac{r}{r_p}}\, l\right)} \qquad (1.22)$$

unde:

$U_p$ este potențialul la capătul obiectului lung, în care intră curentul de punere la pământ (în general, $U_p$ este tensiunea totală a instalației de legare la pământ).

În cazul cablurilor trebuie să se verifice dacă densitatea de curent prin învelişul metalic este sub limita admisă ($j_{admis}$), pentru a nu se depăşi temperatura maximă indicată pentru cablul respectiv:

$$j = \frac{I_p}{S} \leq j_{admis} \quad (1.23)$$

în care:

S este secțiunea învelişului metalic al cablului (la determinarea secțiunii nu se iau în considerație benzile care constituie armătura cablului).

În cazul învelişului de plumb, densitatea maximă admisibilă este $j_{admis}$ = 50 A/mm$^2$.

A.1.9. Indiferent de calculele prealabile efectuate pentru aprecierea rezistențelor prizelor de pământ naturale, este necesar ca aceste rezistențe să se verifice prin măsurări.

A.1.10. În stațiile şi centralele de întindere foarte mare (peste 4 ha) la care pentru executarea instalațiilor de legare la pământ s-au folosit toate prizele de pământ naturale disponibile, precum şi prizele de dirijare a distribuției potențialelor de întindere mare, nu mai este necesară, de regulă, adăugarea (la prizele artificiale orizontale) de prize artificiale cu electrozi verticali din țeavă. Aceştia din urmă vor fi prevăzuți numai în cazuri justificate, când solul prezintă rezistivități mari care impun prize suplimentare de adâncime.

A.1.11. Instalațiile electrice aflate în condiții speciale, în general, sunt considerate următoarele:

- instalațiile electrice situate pe o suprafață de teren cu întindere redusă;
- instalațiile electrice situate pe un sol ale cărui straturi superficiale au o rezistivitate mult mai mare decât straturile inferioare;
- instalațiile electrice situate pe un sol care are un strat superficial cu rezistivitate mică, urmat în adâncime de straturi cu rezistivitate mult mai mare.

În cazul instalațiilor electrice situate pe o suprafață de teren cu întindere redusă sau când straturile solului au o rezistivitate mare, se vor aplica în funcție de condițiile specifice una sau mai multe din următoarele măsuri:

- utilizarea pe scară cât mai largă a prizelor de pământ naturale, existente în apropiere;
- utilizarea tuturor prizelor de pământ din incinta respectivă;
- realizarea unor prize verticale de mare adâncime;
- înlocuirea cu materiale de rezistivitate mică a solului din imediata apropiere a electrozilor, ca de exemplu cu bentonită.

A.1.12. Drept electrozi pentru prizele de pământ de mare adâncime se vor folosi țevi din oțel cu ∅ ≥ 80 mm, introduse în pământ prin forare. Lungimea electrozilor prizei de pământ de mare adâncime se determină în funcție de rezistența şi suprafața electrozilor prizei care trebuie realizată, precum şi de adâncimea la care se găsesc straturile cu rezisivitate mică.

În general, prizele de mare adâncime se vor executa când cheltuielile necesare pentru introducerea electrozilor lungi în straturile inferioare, cu rezistivitate mică, sunt mai mici decât cele necesare executării unei prize de pământ de aceeaşi rezistență cu electrozii de lungime obişnuită, introduşi în stratul superior de rezistivitate mare.

A.1.13. Îmbunătățirea prizelor cu bentonită

Bentonitele sunt roci argiloase care s-au format prin alterarea cenuşilor vulcanice şi conțin un procentaj mare de părți argiloase mineralifere, din grupa montmorilonitului. Acesta este un hidrosilicat de aluminiu cu urme de oxizi de fier, calciu, magneziu şi alte metale.

Montmorilonitul curat are o granulație foarte fină de 60 microni.

În stare naturală, bentonitele se prezintă ca roci uşoare, de duritate mică, moi, friabile, poroase, de culoare albă cu nuanțe galbene, brune, verzui sau roze şi conțin 65 ... 85 % părți argiloase (montmorilonit). Cele cu conținut mai mic de 65 % părți argiloase sunt considerate

bentonite inferioare, iar cele cu conținut mai mare de 85 % părți argiloase sunt considerate bentonite superioare.

Bentonitele brune vor fi prelucrate în vederea separării părților argiloase de părțile nisipoase şi alte impurități.

În modul acesta se obține aşa numita "bentonită - liant", conținând un procentaj de 90-95 % şi chiar mai mare de părți argiloase (montmorilonit), care are propritäți deosebite, şi anume:

- se prezintă ca o pulbere foarte fină (ca o făină) cu granulația de 60 microni şi mai mică, până la 20 microni; se obține după trecerea printr-o sită de 0,063 mm;
- în amestec cu apa formează un gel coloidal în care apa este legată fizic şi chimic, păstrându-se astfel foarte mult timp; amestecul cu apa prezintă o rezistivitate de 1 … 5 Ωm;
- are o mare capacitate de absorbție a apei; astfel, pentru obținerea amestecului (gelului) sunt necesare 25 % bentonită - liant şi 75 % apă (în greutate); pentru obținerea unei tone de amestec sunt necesare 250 kg bentonită şi 750 kg apă;
- are un grad foarte mare de umflare;
- are greutatea specifică mică 800 kg/m$^3$ şi chiar mai mică de la cele cu un conținut mic de impurități (poate ajunge la 600 kg/m$^3$);
- amestecul are o mare stabilitate în timp şi nu este antrenat de apele din pământ;
- are pH mare, minim 8; la bentonitele sodice se ajunge la pH = 9-10, ceea ce face ca electrozii prizelor să fie foarte bine conservați; cu ajutorul bentonitei se poate obține o protecție bună împotriva corodării electrozilor, putându-se folosi în acest caz electrozi din oțel negalvanizat.

Proprietățile deosebit de favorabile expuse mai sus fac ca bentonita-liant să fie indicată pentru îmbunătățirea prizelor de pământ. Reducerea rezistențelor de dispersie este cu atât mai mare cu cât revistivitatea solului înconjurător este mai mare față de cea a bentonitei (1 - 5 Ωm). Astfel, la rezistivități ale solului înconjurător de 150 … 200 Ωm şi mai mari se poate chiar neglija rezistența $R_s^`$ pe care ar prezenta-o amestecul de bentonită în raport cu rezistența $R_s$ a solului înconjurător.

Se recomandă ca bentonita - liant în stare uscată să fie amestecată cu 1 … 5 % sodă (raportat la greutatea în stare uscată) pentru a se obține o rezistivitate mai mică, o omogenizare mai bună a amestecului bentonită - apă şi pentru a se proteja mai bine electrozii împotriva coroziunii, deoarece se măreşte valoarea pH-ului. O astfel de bentonită este indicată pentru protejarea electrozilor în cazul prezenței unor ape agresive, care ar putea să determine o coroziune rapidă a electrozilor neprotejați.

Pentru obținerea bentonitei - liant, bentonita brută va fi măcinată şi trecută prin mai multe site, ultima sită având dimensiunile de 0,063 mm. Sterilul (deşeul), rezultat din prepararea bentonitei - liant, conține părți argiloase (levigabile) în procentaje mai mici chiar de 10 %, sau mai mari - până la 50 %, în funcție de cât de bogată a fost roca brută. La o bentonită brută săracă şi deşeul este mai sărac.

Acest steril (deşeu), îmbogățit astfel încât să conțină peste 50 % părți argiloase în amestec cu sodă pentru creşterea valorii pH-ului şi pentru scăderea rezistivității amestecului cu apă sub 5 Ωm, a fost denumit "bentopriză", pentru utilizarea lui la îmbunătățirea prizelor de pământ.

Bentopriza are un conținut foarte mare de părți nisipoase şi alte impurități care fac să aibă greutatea specifică mai mare decât bentonita - liant (uneori peste 1000 kg/m$^3$). Greutatea specifică este cu atât mai mare, cu cât conținutul În părți argiloase este mai mic şi invers. Astfel, la un conținut de 55 % părți argiloase greutatea specifică este 900 kg/m$^3$, iar la un conținut de 30 % părți argiloase greutatea specifică depăşeşte 1000 kg/m$^3$.

Bentopriza are un grad de umflare mai mic decât bentonita - liant. Se prezintă cu o granulație mare, deoarece sterilul se obține la site cu dimensiuni de 1 mm. Față de bentonita - liant, "bentopriza" prezintă următoarele dezavantaje:

a) Are un conținut mai mic de părți argiloase, fiind astfel necesară o cantitate mult mai mare pentru acelaşi volum de amestec. Procentul de bentopriză în amestec este cu atât mai mare, cu cât conținutul de părți argiloase este mai mic; în cazul unei bentoprize cu 50-60 % părți argiloase, pentru un amestec de 1 m$^3$ ar fi necesare 400 kg bentopriză şi 600 kg apă; cu un cost comparabil cu costul în situația în care se foloseşte bentonita - liant.

b) Amestecul cu bentonită având un conținut de apă mai mic şi stabilitatea în timp a rezistivității este mai mică decât În cazul bentonitei - liant; există riscul ca în perioada de secetă

să se piardă mai rapid apa şi din solul din imediata vecinătate a prizei, crescând astfel rezistivitatea acestuia şi, deci, rezistenţa de dispersie a prizei de pământ.

c) În cazul bentoprizei cu conţinut mic de părţi argiloase şi, deci, cu o cantitate mare de părţi nisipoase, există riscul ca într-un timp scurt să fie antrenată şi să fie integrată în masa mare a solului înconjurător.

Ţinându-se seama de cele precizate mai sus, este necesar ca la folosirea bentoprizei pentru îmbunătăţirea prizelor de pământ să se aibă în vedere ca aceasta să conţină cel puţin 50 % părţi argiloase (levigabile) de granulaţie fină; se recomandă ca acest procentaj de părţi argiloase să fie cât mai mare şi cu o granulaţie corespunzătoare; de asemenea, trebuie ca $pH \geq 8{,}5$ şi $\rho = 5\ \Omega m$. Aceste condiţii trebuie să figureze în proiect şi în documentaţia de procurare şi de livrare. Se vor respecta prevederile STAS 12604/5-90.

În cazul staţiilor de transformare şi conexiuni unde se impune o stabilitate mare pentru prizele de pământ şi la care durata de funcţionare a acestora este mare, este de preferat să se folosească bentonita-liant cu un conţinut de cel puţin 90 % părţi argiloase de granulaţie fină (rezultată la sita de 0,063 mm). Această bentonită-liant urmează să fie amestecată cu 1-5% sodă, pe şantier sau la unitatea de prepararea bentonitei-liant în vederea obţinerii unui $pH \geq 9$ pentru o protecţie a electrozilor împotriva corodării, precum şi a unei rezistivităţi de 2 … 5 $\Omega m$.

În situaţia în care nu se poate procura bentonita-liant, se admite folosirea bentoprizei, însă numai dacă îndeplineşte condiţiile de mai sus privind conţinutul de părţi argiloase (levigabile). Este necesar ca înainte de folosire să se verifice calitatea bentoprizei. Concentraţia maximă de bentopriză în amestec cu apa trebuie să fie 0,7 la 1 l de apă pentru formarea gelului. Astfel, la 1000 l de apă trebuie să se consume cel mult 700 kg de bentopriză; dacă este necesară o cantitate mai mare de bentopriză, înseamnă că sortul respectiv este necorespunzător. De asemenea sortul se consideră necorespunzător dacă nu se poate obţine un amestec sub formă de gel.

A.1.14. Modul de calcul al rezistenţelor de dispersie ale prizelor cu bentonită

Datorită rezistivităţii reduse a amestecului de bentonită cu apă (2 - 5 $\Omega m$), mult mai mică decât a solului înconjurător care depăşeşte 100 $\Omega m$, prevederea de bentonită în imediata apropiere a electrodului are practic efectul măririi artificiale a dimensiunilor acestuia.

De exemplu, dacă în jurul unui electrod din ţeavă de 2`` (60 mm) se prevede un amestec cu bentonită sau bentopriză într-o groapă cu diametrul de 600 mm, se poate considera că se obţine rezistenţa de dispersie unui electrod constituit dintr-un cilindru având un diametru de 600 mm, ceea ce înseamnă $R_{pb} \leq \frac{1}{2} \cdot R_p$ (1.24)

Se tinde ca prin prevederea amestecului de bentonită cu apă să se obţină creşterea diametrului electrodului de 10 ori, în cazul electrozilor cu secţiune circulară.

În cazul electrozilor din bandă sau alte profiluri similare, este indicat să se obţină o creştere a lăţimii de cel puţin 10 ori. De exemplu, în cazul benzilor de 40 × 4 mm, secţiunea stratului de amestec de bentonită cu apă trebuie să fie de 400 × 300 mm. În cazul benzilor de 50 × 8 mm sau 60 × 6 mm, secţiunea stratului de bentonită va fi în medie de 500 × 300 mm.

Din experimentări a rezultat că prin prevederea amestecului de bentonită cu apă, într-o groapă, în jurul electrodului, rezistenţa $R_{pb}$ a scăzut sub 0,5 $R_p$; $R_p$ fiind rezistenţa de dispersie a prizei fără adaos de amestec cu bentonită.

Se observă că rezistenţa de dispersie reală este mai mică decât cea rezultată din calculul folosind formulele cunoscute ale prizelor de tipuri echivalente. Aceasta se explică prin faptul că prin considerarea creşterii diametrului d (la electrozii cu secţiune circulară) sau a lăţimii b (la electrozii cu secţiune dreptunghiulară) de ordinul a 10 ori, nu se mai respectă condiţia formulelor cunoscute $d \leq l$ şi $b \leq l$. La electrozii din bandă nu se mai poate considera în formule $d = 2b$, ci trebuie să se considere $d \sim b$, datorită grosimii apreciabile a stratului de amestec 300 - 400 mm şi, deci, formula prizelor orizontale care trebuie folosită este:

$$R_{pb} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{tB} \quad (1.25)$$

unde B este lățimea şanțului, care se umple cu amestec de bentonită cu apă. Rezistența prizei fără bentonită ar fi:

$$r_p = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\frac{2l^2}{tb}$$

în care b este lățimea electrodului.

Reducerea rezistenței prin prevederea bentonitei este $\Delta r_p = r_p - r_{pb}$ ; raportată la valoarea $r_p$ se obține:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = \frac{\lg\frac{2B}{b}}{\lg\frac{2l^2}{tb}} \qquad (1.26)$$

Pentru B = 10 b; l =6 m; t = 0,8 m şi b = 0,04 m (cazurile obişnuite):

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0{,}4 \qquad (1.27)$$

În realitate, datorită infiltrațiilor amestecului de bentonită cu apă în solul din jur care depăşesc volumul considerat, reducerea este mai mare, şi anume:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0{,}5 \text{ (confirmată de practică)}$$

În cazul prizelor verticale, dacă diametrul gropii umplute cu amestec de bentonită cu apă este de acelaşi ordin de mărime cu lungimea electrodului, ca de exemplu D - 0,6 m față de l=1,5-2,0 m este necesar să se asimileze priza cu una semisferică, având diametrul corespunzător unui volum echivalent V şi:

$$r_{pb} = \frac{\rho}{\pi D} = \frac{\rho}{\pi\sqrt[3]{3D^2 \cdot l}} \qquad (1.28)$$

Reducerea obținută este:

$$\Delta r_p = r_p - r_{pb}$$

$$\Delta r_p = 0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\left(\frac{2l}{d}\sqrt{\frac{4t+l}{4t-1}}\right) - \frac{\rho}{\pi\sqrt[3]{3D^2 \cdot l}} \qquad (1.29)$$

iar raportată la $r_p$ se obține:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 1 - \frac{\frac{\rho}{\pi\sqrt[3]{3D^2 \cdot l}}}{0{,}366\frac{\rho}{l}\lg\left(\frac{2l}{d}\sqrt{\frac{4t+l}{4t-l}}\right)} \qquad (1.30)$$

De exemplu, pentru:

d = 0,09 m; D = 0,6 m; l = 2 m; t = 2m.

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0{,}45 \qquad (1.31)$$

În realitate, datorită infiltrațiilor amestecului de bentonită cu apă în solul din jur care depăşesc diametrul D considerat, reducerea este mai mare. Se poate considera $\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0{,}5$ (confirmat şi de rezulatele obținute la experimentări).

A.1.15. Modul de executare a prizelor de pământ cu bentonită

Bentonita activată cu sodă trebuie să fie amestecată înainte de turnare cu apă, după o anumită tehnologie, în vederea obținerii unui amestec foarte omogen. Amestecul se va prepara cu deosebită atenție, întrucât neobținerea omogenizării necesare conduce la rămânerea în amestec a unor părți de pulbere (cocoloaşe) care măresc rezistența rezultantă. Se interzice vărsarea bentonitei uscate direct în gropi sau în şanțuri şi turnarea simplă a apei deasupra ei,

deoarece în acest caz rezultă o rezistenţă foarte mare. De asemenea, rezultă o rezistenţă mai mare decât cea preconizată, dacă praful de bentonită se amestecă cu o cantitate insuficientă de apă.

Amestecarea trebuie să se facă într-un recipient de ~ 200 l. De asemenea, este indicat ca operaţia de omogenizare să fie mecanizată.

După obţinerea amestecului perfect omogenizat sub formă de gel, acesta se va turna în gropile sau şanţurile executate în prealabil. Pentru prizele verticale se execută o groapă cu diametrul D stabilit, în care se va introduce electrodul vertical (în centrul gropii), după care se va introduce amestecul omogenizat de bentonită cu apă (sub formă de gel).

În cazul prizelor orizontale se execută şanţurile cu lăţimile şi adâncimile stabilite, se introduc electrozii orizontali sprijiniţi pe pietre sau pe bucăţi de cărămidă pentru a fi distanţaţi de fundul şanţului la aproximativ jumătate din grosimea stabilită a stratului de amestec de bentonită cu apă, după care se toarnă amestecul bine omogenizat până la obţinerea unui gel.

Umplerea gropii sau a şanţului se va face după cel puţin 6 ore, deoarece mai devreme nu are rezistenţa necesară să suporte pământul de acoperire. Primul strat de acoperire de 12 - 20 cm trebuie să fie fără pietre (bolovani).

În solurile pietroase (stâncoase), executarea gropilor se poate face prin puşcarea (explozie). La un astfel de procedeu rezultă ramificaţii (fisuri) în solul înconjurător în care pătrunde amestecul de bentonită cu apă, ceea ce conduce la micşorarea accentuată a rezistenţei de dispersie. Bineînţeles, se vor lua măsuri ca la puşcare să nu se producă accidente sau deteriorarea construcţiilor din jur (de exemplu: fundaţii de stâlpi sau clădiri).

A.1.16. Prize de pământ, în soluri neomogene

Practica arată că, în numeroase cazuri, solul nu este omogen şi se prezintă în straturi care au deseori rezistivităţi de valori apreciabile diferite, chiar de ordin de mărime diferit. În astfel de situaţii se vor determina, prin metode geoelectrice, straturile suprapuse ale solului cu rezistivităţi diferite, se vor determina grosimile şi rezistivităţile a cel puţin două straturi suprapuse.

În relaţiile de la A.1.4, A.1.6 şi A.1.14 s-a considerat că electrozii prizei sunt îngropaţi într-un semispaţiu infinit, având peste tot aceeaşi rezistivitate ρ, ceea ce în cazul unor straturi suprapuse de rezistivităţi diferite nu corespunde realităţii. Erorile mari apar în special când sunt două straturi la care raportul rezistivităţilor este foarte mare, ca de exemplu un strat de pământ arabil sau argilos de grosime relativ mică (0,6 - 3 m) peste un strat de sol pietros (sau nisipos) de rezistivitate mare.

Se introduce noţiunea de rezistenţă geometrică a prizei de pământ, care se notează cu $R_g$. Ea reprezintă o mărime caracteristică invariabilă, pentru dispoziţii de prize geometrice similare. Mărimea este determinată numai de geometria dispoziţiei prizelor şi independent de rezistivitatea solului sau de lungimea de referinţă L. Mărimea $R_g$ se poate exprima:

$$R_g = R_p \cdot \frac{L}{\rho} \qquad (1.32)$$

Pentru solurile omogene, mărimile se vor marca cu indicele h, astfel:

$$R_{ph} = R_{gh} \cdot \frac{\rho h}{L} \qquad (1.33)$$

Într-un sol cu două sau mai multe straturi având rezistivităţi diferite $\rho_1$ ... $\rho_2$, la trecerea curentului prin priză, potenţialul unui punct P al spaţiului sau al prizei $\varphi_p$ poate fi considerat că este constituit dintr-un potenţial primar $\varphi_{ph}$, care s-ar produce dacă semispaţiul infinit ar fi umplut cu un sol omogen având rezistivitatea $\rho = \rho_h = \rho_1$ al unuia din straturile luate ca referinţă şi un potenţial secundar $\varphi_{ps}$ produs datorită neomogenităţii solului:

$$\varphi_p = \varphi_{ph} + \varphi_{ps} \qquad (1.34)$$

De aici rezultă relaţia:

$$R_g = R_{gh} + R_{gs} \qquad (1.35)$$

unde $R_{gs}$ este rezistenţa secundară (de corecţie) datorită neomogenităţii solului, care modifică rezistenţa geometrică determinată cu relaţiile pentru soluri omogene $R_{gh}$.

$R_{gs}$ are valori pozitive dacă rezistivitatea stratului inferior este mai mare decât cea a stratului luat ca referinţă.

Pentru simplificarea calculelor, ce urmează să fie efectuate în vederea dimensionării instalațiilor de legare la pământ, este necesar ca pentru diferite cazuri de neomogenități şi tipuri de prize de pământ să se determine separat rezistența geometrică pentru dispunerea în sol omogen $R_{gh}$ şi, separat, rezistența geometrică suplimentară $R_{gs}$ de corecție datorată neomogenității solului.

O altă posibilitate constă în obținerea directă a valorii $R_p$ din relația $R_p = KR_{ph}$, unde $R_{ph}$ este rezistența corespunzătoare cazului când tot solul ar avea rezistența de referință $\varphi_1$ a stratului superior, iar:

$$K = \frac{R_p}{R_{ph}}$$, raport determinat pentru tipul respectiv de priză de pământ.

Priza cu electrod orizontal tip bandă

Pentru o priză alcătuită dintr-un electrod orizontal, tip bandă, dispus în stratul superior, cu $\rho_1$, valorile $R_{gs}$ sunt reprezentate de curba din figura A.1.10 în funcție de raportul $\frac{h}{l}$ şi raportul:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \text{(factorul de refracție).}$$

Se consideră că adâncimea de îngropare a electrodului $t < h$ şi diametrul (sau grosimea) electrodului $d \leq l$.

Curbele din figura A.1.10 indică valorile $R_{gs}$ pentru cazul când $\rho_2 > \rho_1$, deci pentru $0 < k < 1$. Valorile rezistenței geometrice suplimentare sunt pozitive $R_{gs} > 0$ şi se adaugă, deci, la valoarea $R_{gh}$ calculată pentru solul omogen cu rezistivitatea $\rho_1$.

Fig.A.1.10. Curbele de variație ale rezistenței geometrice suplimentare $R_{gs}$ pentru prizele cu electrod orizontal tip bandă, în sol neomogen cu două straturi de rezistivități $\rho_1$ şi $\rho_2$, în funcție de raportul $\frac{h}{l}$; parametrul de variație este:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ unde } \rho_2 > \rho_1$$

Exemplu: o priză orizontală din oțel rotund $\Phi$ 14, îngropată la t = 0,6 m şi având d = 0,014 m: $\rho_1$ = 100 Ωm; $\rho_2$ = 700 Ωm; h = 3 m şi l = 30 m.

Rezultă:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{600}{800} = 0{,}75; \qquad \frac{h}{l} = 0{,}1$$

$$R_{gh} = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1}$$ iar din figura A.1.10 rezultă $R_{gs} = 1{,}8$.

$$R_g = R_{gh} + R_{gs}$$

$$R_g = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1} + 1{,}8$$

şi $$R_p = R_g \cdot \frac{\rho_1}{l}$$

Rezultă:

$$R_p = R_{ph} + 1{,}8\frac{\rho_1}{l}$$

Conform relației (1.9) de la A.1.4 pentru $\rho_1$ = 100 Ωm şi l = 30 m.

$R_{ph}$ = 6,13 Ω

Deci: $$R_p = 6{,}13 + 1{,}7 \cdot \frac{100}{30}$$

$R_p$ = 6,13 + 6 = 12,13 Ω.

După cum se observă, în cazul în care influenţa stratului inferior nu a fost luată în considerare eroarea de calcul este deosebit de mare, şi anume:

$\Delta R_p$ = 6 Ω, ceea ce reprezintă ~ 50 % din valoarea reală $R_p$ = 12,13 Ω.

Dacă în exemplul de mai sus se ia l = 75 m, rezultă $R_{gs}$ = 3,0 şi $R_{ph}$ = 2,84 iar:

$$R_p = 2{,}84 + 3 \cdot \frac{100}{75}$$

$R_p$ = 2,84 + 4 = 6,84 Ω.

În tabelul A.1.11 se dau valorile $R_p^`$, ţinând seama de influenţa stratului inferior pentru diferite lungimi "l" ale electrodului orizontal, în comparaţie cu $R_{ph}$, când nu se ţine seama de rezistivitatea $\rho_2$ a stratului inferior.

Tabelul A.1.11

<u>Prize orizontale</u>

Exemplu:

$\rho_1$ = 100 Ωm; $\rho_2$ = 700 Ωm; k = 0,75; h = 3 m

| l (m) | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ph}$ (Ω) | 76 | 37 | 25,4 | 14,90 | 10,8 | 8,55 | 6,13 | 4,78 | 3,8 | 2,84 |
| $R_p$ (Ω) | 81 | 44,3 | 32,8 | 21,90 | 17,2 | 15,55 | 12,13 | 9,98 | 8,6 | 6,84 |
| $R_{ps}$ (Ω) | 5 | 7,3 | 7,4 | 7,00 | 6,4 | 7,0 | 6,0 | 5,20 | 4,80 | 4,00 |
| Eroare | 6 % | 16,5% | 22,6% | 32% | 37,1% | 45% | 49,5% | 52,1% | 55,8% | 58,5% |

În tabel, $R_{ps} = R_{gs} \cdot \frac{\rho_1}{l}$

Din tabel rezultă că în exemplul considerat, erorile în minus cresc accentuat pe măsura creşterii lungimii electrodului. Astfel, pentru un electrod de 1 m eroarea este de numai 6 %, pe când în cazul unui electrod de 75 m eroarea ajunge la aproape 60 % din valoarea reală, dacă nu se ţine seama de influenţa stratului inferior mai rău conducător (pentru exemplul considerat).

În figura A.1.11 se reprezintă raportul $K = \frac{R_p}{R_{ph}}$ pentru electrozii orizontali din bandă.

Raportul dintre rezistenţa de dispersie reală $R_p$ şi rezistenţa de dispersie a prizei respective, într-un sol omogen cu rezistivitatea $\rho_1$ a stratului superior, este egal cu raportul dintre o rezistivitate echivalentă $\rho_e$ a unui sol omogen, în care priza dată ar prezenta $R_p$ şi rezistivitatea $\rho_1$:

$$\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1} \qquad (1.36)$$

Determinându-se din această relaţie valoarea lui $\rho_e$, este posibilă dimensionarea instalaţiei de legare la pământ, folosindu-se relaţiile cunoscute pentru solul omogen în care rezistivitatea de calcul va fi:

$$\rho_e = \rho_1 \cdot \frac{R_p}{R_{ph}} \qquad (1.37)$$

dacă se cunoaşte raportul $\frac{R_p}{R_{ph}}$ pentru tipul respectiv de priză într-un sol având o anumită omogenitate.

În figura A.1.11 sunt prezentate curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în funcție de raportul $\frac{h}{l}$ pentru prizele orizontale din electrod tip bandă, în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ iar $\frac{l^2}{dt} = 25 \cdot 10^4$.

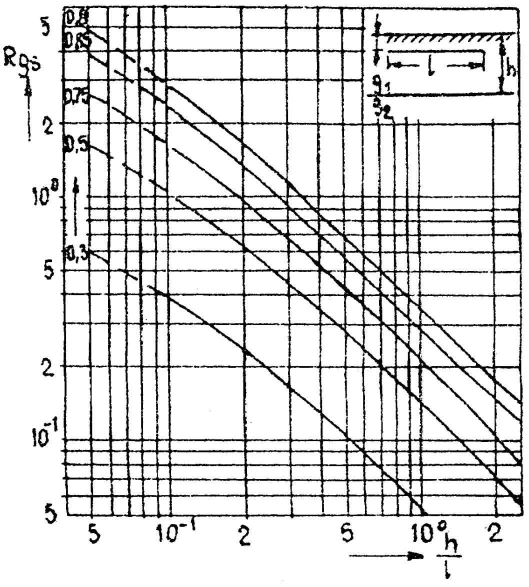


Figura A.1.10- Curbele de variație ale rezistenței geometrice suplimentare $R_{gs}$ pentru prize cu electrod orizontal tip bandă, în sol neomogen cu două straturi de rezistivități $\rho_1$ şi $\rho_2$ în funcție de raportul $\frac{h}{l}$; parametrul de variație este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ unde $\rho_1 \le \rho_2$.

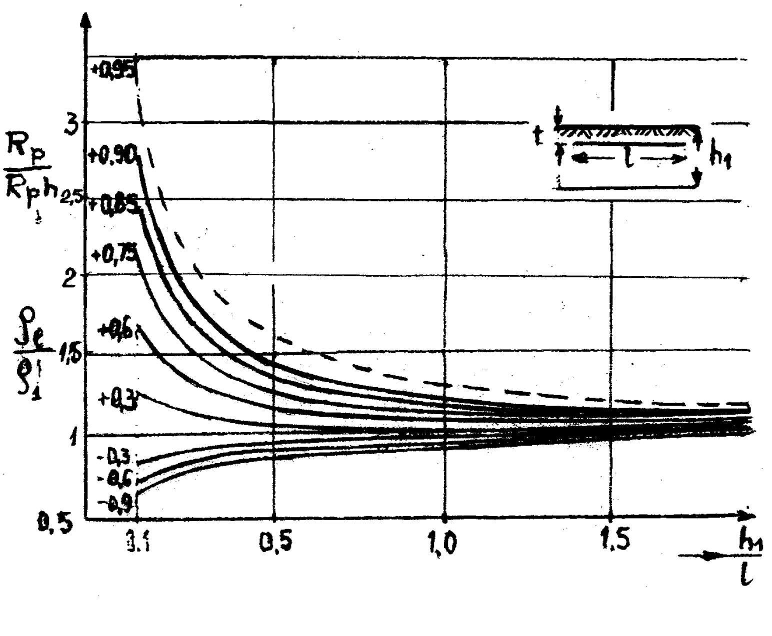


Figura A.1.11- Curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_0}{\rho_1}$ în funcție de raportul $\frac{h}{l}$ pentru prize orizontale din electrod tip bandă, în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, iar $\frac{l^2}{dt} = 25 \cdot 10^4$

Prize cu electrozi verticali

În figura A.1.12 se dă curba de variație a raportului $\frac{R_p}{R_{ph}}$ în cazul unui sol neomogen cu două straturi $\rho_1$ şi $\rho_2$ stratul superior având grosimea h pentru o priză constituită dintr-un electrod vertical de lungime l şi diametrul d, îngropat în stratul superior, în funcție de $\frac{h}{l}$ şi pentru $\frac{l}{d} = 50$, (de exemplu: l = 3 m şi d = 0,06 m), parametrul de variație fiind, de asemenea, factorul de refracție $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$.

**De exemplu**, $\rho_1$ = 100 Ωm; $\rho_2$ = 700 Ωm; h = 6 m; l =3 m; $\frac{h}{l} = 2$ şi $\frac{l}{d} = 60$.

Rezultă:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{700 - 100}{700 + 100} = 0{,}75;$$

$$\frac{R_p}{R_{ph}} = 1{,}14; \qquad R_{ph} = 0{,}366 \cdot \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$$

$R_{ph}$ = 28 Ω; $R_p$ = 1,14 × 28 = 31,92 Ω

În tabelul A.1.12 se dau valorile $R_p$, ținându-se seama de influența stratului inferior pentru diferite grosimi ale stratului superior h (în exemplul de mai sus).

Tabelul A.1.12

Prize verticale

Exemplu: $\rho_1$ = 100 Ωm; $\rho_2$ = 700 Ωm; l = 3 m; $\frac{l}{d} = 60$

| h | 4 | 6 | 7,5 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{ph}$ (Ω) | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| $R_p/R_{ph}$ | 1,18 | 1,14 | 1,11 | 1,09 | 1,065 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 |
| $R_p$ (Ω) | 33 | 32 | 31 | 30,05 | 29,8 | 29,4 | 29,1 | 28,8 | 28,5 |

Se observă că în cazul prizelor de pământ verticale, cu electrozii îngropați în stratul superior, rezistența prizei în sol omogen diferă puțin față de valoarea rezistenței de dispersie, neținând seama de stratul inferior. Diferențele sunt mai apreciabile pentru grosimi ale stratului superior până la 10 m.

În figura A.1.12 sunt prezentate curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în funcție de raportul $\frac{h_1}{l}$ pentru prizele cu electrod vertical în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ iar } \frac{l}{d} = 60$$

Prizele complexe în formă de rețea

Rezistența de dispersie a prizelor în formă de rețea, în sol neomogen, depinde în afară de parametrii geometrici ai prizei şi de rezistivitățile straturilor, grosimea acestora, suprafața ocupată de electrozii prizei şi de adâncimea de îngropare. Un calcul cu formulele pentru sol omogen, considerând numai rezistivitatea unuia dintre straturi, poate duce la erori considerabile.

Pentru astfel de prize de pământ se determină rezistența din relația:

$$R_p = \frac{\rho_e}{\rho_1} R_{ph}, \qquad (1.38)$$

unde: $\rho_e$ este rezistivitatea echivalentă, presupunând că priza este în sol omogen.

Rezistivitatea $\rho_e$ se poate obține din curbele din figura A.1.13, în funcție de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ (r - raza echivalentă şi h - grosimea stratului superior); aici s-a făcut aproximația că adâncimea de îngropare $t = \frac{h}{2}$, iar parametrul de variație este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

De exemplu, pentru $\rho_1$ = 100 Ωm şi $\rho_2$ = 1000 Ωm , r = 100 m, h = 2 m şi a = 5 m, rezultă:

$$\alpha = \frac{r}{h} = \frac{100}{2} = 50 \text{ şi } \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1000}{100} = 10,$$

iar

$$N = \frac{\rho_e}{\rho_1} = 5 \text{ şi } \frac{N}{\alpha} = 0{,}1$$

În figura A.1.13 se poate citi direct valoarea $\frac{N}{\alpha}$, urmărind diagonala care intersectează curba $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 10$ în dreptul abscisei $\alpha$ = 50.

În figura A.1.13 sunt prezentate curbele de variație ale raporturilor $\frac{\rho_e}{\rho_1} = N$ şi $\frac{N}{\alpha}$ în funcție de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ pentru prizele de pământ cu electrozi orizontali în formă de retea, în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

În acest exemplu rezultă $\rho_e = N \cdot \rho_1 = 5 \times 100 = 500$ Ωm.

Rezistența de dispersie a unei prize în formă de rețea, în sol omogen, se poate scrie astfel:

$$R_{ph} = \frac{\rho_1}{2\pi r}\left(\frac{\pi}{2} + 0{,}6 \cdot \frac{a}{r}\right)$$. Deci, rezistența în sol neomogen va fi:

$$R_p = \frac{\rho_e}{2\pi r}\left(\frac{\pi}{2} + 0{,}6\frac{a}{r}\right) = \frac{500}{2\pi \cdot 100}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{3}{100}\right);$$

$$R_p = \frac{5}{4} + \frac{5 \times 3}{2\pi 100} = 1{,}275\ \Omega$$

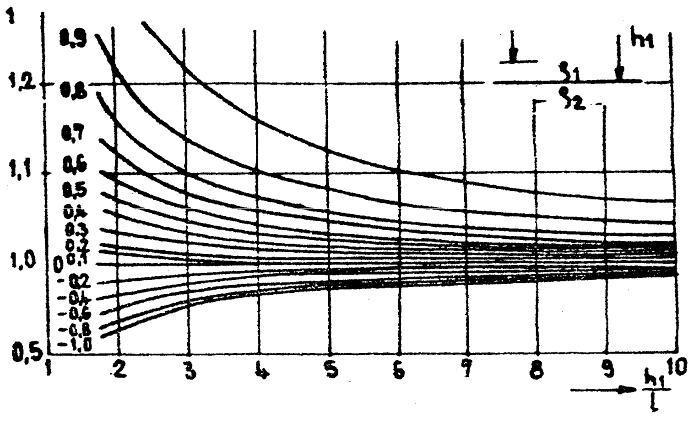



Figura A.1.12- Curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în funcție de raportul $\frac{h_1}{l}$ pentru prize cu electrod vertical, în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, iar $\frac{l}{d} = 60$

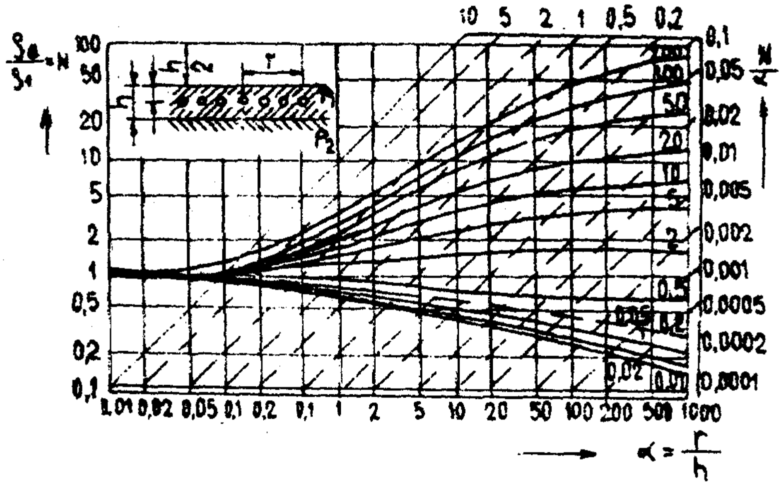



Figura A.1.13- Curbele de variație ale raporturilor $\frac{\rho_e}{\rho_1} = N$ și $\frac{N}{\alpha}$ în funcție de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ pentru prize de pământ cu electrozi orizontali în formă de rețea în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

În cazul în care $t \neq \frac{h}{2}$, grosimea de calcul $h_c$ se determină cu relația $h_c = 2(h-t)$.

În tabelul A.1.13 se dau diferite valori ale rezistivității echivalente, în funcție de valoarea razei de calcul corespunzătoare suprafeței S a prizei în rețea.

Tabelul A.1.13

Prize complexe în formă de rețea

Exemplu: Rezistivități echivalente pentru $\rho_1 = 100\ \Omega m$; $\rho_2 = 1000\ \Omega m$, h = 2 m ; $h_c = 2\ (2 - 0,6) = 2,8$ m; $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 10$

| r | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$=r/h | 5,4 | 7,2 | 9 | 10,7 | 14,1 | 17,9 | 21,5 | 28,6 | 36 | 53,5 | 71,5 |
| N | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 4,15 | 4,3 | 46 | 49 | 53 | 55 |
| $\rho_e = N \cdot \rho_1$ | 320 | 350 | 370 | 380 | 400 | 415 | 430 | 460 | 490 | 530 | 550 |

Din figura A.1.13 rezultă că în cazul considerat, pentru valori foarte mari ale lui r, valoarea N creşte încet, astfel încât pentru $\alpha = 1000$, N atinge valoarea 7 şi, deci, $\rho_e = 700\ \Omega m$.

Se observă că în funcție de mărimea prizei, rezistivitatea echivalentă variază în limite foarte mari (300 ... 700 $\Omega m$).

În tabelul A.1.14 se dau diferite valori ale rezistivității echivalente, în funcție de valoarea raportului $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

Tabelul A.1.14

Prize complexe în formă de rețea

Exemplu: Rezistivități echivalente pentru t = 0,6 m; h = 2 m ; $h_c$ = 2,8 m; r = 50 m; $\alpha = \frac{r}{H} = 17,9$; $\rho_1 = 100\ \Omega m$.

| $\rho_2/\rho_1$ | 0,02 | 0,2 | 0,5 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 0,42 | 0,58 | 0,72 | 1,7 | 3 | 4,15 | 6,5 | 10 | 15 | 19 |
| $\rho_e$ | 42 | 58 | 72 | 170 | 300 | 415 | 650 | 1000 | 1500 | 1900 |

În tabelul A.1.15 se dau diferitele valori ale rezistivității echivalente, în funcție de grosimea stratului superior h.

Tabelul A.1.15

Prize complexe în formă de rețea

Exemplu: Rezistivități echivalente pentru t = 0,6 m; r = 50 m; $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 5$; $\rho_1 = 100\ \Omega m$.

| | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $h_c$ | 0,8 | 2,8 | 4,8 | 8,8 | 18,8 | 38,8 | 58,8 | 98,8 | 198,8 |
| $\alpha = r/h_c$ | 62,5 | 17,9 | 10,4 | 5,7 | 2,65 | 1,3 | 0,85 | 0,50 | 0,25 |
| N | 3,5 | 3 | 2,1 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,25 |
| $\rho_e$ | 350 | 300 | 210 | 200 | 180 | 160 | 150 | 140 | 125 |

Prize cu electrod vertical în sol neomogen, cu plan de separare vertical.

În figura A.1.14 se dau curbele valorilor rezistentelor geometrice suplimentare $R_{gs}$ pentru o priză cu electrod vertical, îngropat într-un sol neomogen cu două straturi de rezistivităţi diferite $\rho_1$ şi $\rho_2$ având planul de separare între cele două straturi verticale (perpendicular pe suprafaţa solului), electrodul fiind în stratul de rezistivitate $\rho_1$.

În abscisă sunt valorile raportului a/l, a fiind distanţa dintre electrodul vertical şi planul vertical de separare între cele două straturi, iar l lungimea electrodului. Parametrul de variaţie pentru curbele din figura A.1.14 este coeficientul de refracţie.

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

În figura A.1.14 sunt prezentate curbele de variaţie ale rezistenţei geometrice suplimentare $R_{gs}$ pentru o priză cu electrod vertical, într-un sol neomogen cu două straturi de rezistivităţi diferite, având planul de separare vertical; parametrul de variaţie este:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}; \text{ pentru } k > 0; \; R_{gs} > 0$$

$$\text{pentru } k < 0; \; R_{gs} < 0$$

Rezistenţa geometrică $R_g$ se determină cu relaţia:

$$R_g = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1} + R_{gs}$$

unde:

$$R_{ph} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4 \cdot l}{d},$$

formula pentru prizele verticale într-un sol omogen de rezistivitate $\rho_1$.

$$R_g = R_p \frac{l}{\rho_e}$$

Rezistenţa de dispersie $R_p$ rezultă, deci, din relaţia:

$$R_p = R_g \frac{\rho_e}{l}$$

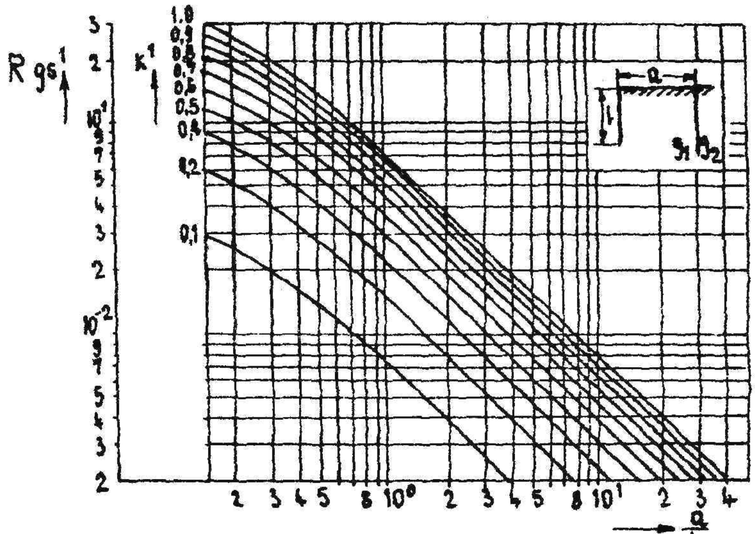


Figura A.1.14- Curbele de variaţie ale rezistenţei geometrice suplimentare $R_{gs}$ pentru o priză cu electrod vertical într-un sol neomogen cu 2 straturi de rezistivităţi diferite având planul de separare vertical; parametrul de variaţie este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, pentru $k > 0$, $R_{gs} > 0$ iar pentru $k < 0$, $R_{gs} < 0$.

Cunoscând $R_p$, se poate determina rezistivitatea echivalentă $\rho_e$ pentru solul respectiv:

$$\rho_e = \frac{R_p}{R_{ph}} \cdot \rho_1 ,$$

valabilă în cazul prizei verticale cu raportul $\frac{a}{l}$, pentru care s-a determinat rezistența suplimentară $R_{gs}$.

**ANEXA 2**

## A.2. Determinarea coeficienților de atingere şi de pas

A.2.1. Coeficienții de atingere şi de pas sunt dați de relațiile:

$$k_a = 1 - \frac{U_k}{U_p}; \quad k_{pas} = \frac{U_{k1} - U_{k2}}{U_p} \tag{2.1}$$

în care:

$U_k$ reprezintă potențialul punctului k pentru care se determină coeficientul de atingere;

$U_p$ - tensiunea prizei de pământ;

$U_{k1}$ şi $U_{k2}$ - potențialele punctelor $k_1$ şi $k_2$ pentru care se calculează coeficientul de pas.

Potențialul într-un punct k este dat de relația:

$$U_k = \sum_{p=1}^{m} U_{kp} \qquad U_{kp} = \sum_{p=1}^{m} i_p \cdot \beta_{kp} \tag{2.2}$$

unde:

$U_{pk}$ reprezintă potențialul punctului k, dacă ar exista numai electrodul de rang p;

$i_p$ - curentul care trece în pământ prin electrodul de rang p;

$\beta_{kp}$ - rezistența reciprocă între punctul k şi electrodul de rang p.

Curenții $i_p$ se determină din relațiile 2,3 ale potențialelor electrozilor. Potențialul unui electrod reprezintă suma potențialelor datorită curentului care trece în pământ prin electrodul respectiv, precum şi datorită curenților care trec în pământ prin ceilalți electrozi:

$$\begin{aligned}
U_1 &= i_1 \cdot \alpha_{11} + i_2 \cdot \alpha_{21} + \ldots + i_p \cdot \alpha_{p1} + \ldots + i_n \cdot \alpha_{n1} \\
U_2 &= i_1 \cdot \alpha_{12} + i_2 \cdot \alpha_{22} + \ldots + i_p \cdot \alpha_{p2} + \ldots + i_n \cdot \alpha_{n2} \\
U_m &= i_1 \cdot \alpha_{1m} + i_2 \cdot \alpha_{2m} + \ldots + i_p \cdot \alpha_{pm} + \ldots + i_n \cdot \alpha_{nm} \\
U_n &= i_1 \cdot \alpha_{1n} + i_2 \cdot \alpha_{2n} + \ldots + i_p \cdot \alpha_{pn} + \ldots + i_n \cdot \alpha_{nn}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Se consideră că toți electrozii prizei se află la acelaşi potențial şi, deci:

$$U_1 = U_2 = \ldots = U_n = U_p = R_p \cdot I_p \tag{2.4}$$

unde:

$R_p$ este rezistența de dispersie a prizei, calculată conform indicațiilor din anexa 1;

$I_p$ - curentul efectiv care trece prin priză.

Între curentul care trece prin priză şi curenții care trec în pământ prin fiecare electrod, există relația:

$$I_p = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots + i_n \tag{2.5}$$

unde:

$\alpha_{nm}$ este rezistența proprie a electrodului de rang m;

$\alpha_{pm}$ este rezistența reciprocă între electrozii de rang p şi m.

A.2.2. Calculul coeficienților de atingere şi de pas pentru instalațiile de dirijare cu electrozi orizontali rectilinii şi paraleli, folosite în stații electrice.

Nu este necesară prevedere unui sistem caroiat (în rețea).

Se va avea în vedere ca rețeaua instalației de legare la pământ respectivă să depăşească în toate cazurile zonele de deservire a echipamentului din stație.

Pentru calculul rezistențelor proprii şi reciproce în cazul electrozilor rectilinii şi paraleli, se utilizează metoda potențialelor medii şi principiul imaginilor inversate (vezi programul de calcul “INCO” din biblioteca ELECTRA).

Rezistența proprie a unui electrod orizontal, de lungime l şi diametru d, îngropat la adâncimea t, într-un mediu semiinfinit de rezistivitate ρ, se calculează cu relația:

$$\alpha_{mm} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} \tag{2.6}$$

Rezistența reciprocă a doi electrozi paraleli de lungime l, diametru d, îngropați la adâncimea t într-un mediu semiinfinit de rezistivitate ρ, la distanța $a_{mp}$ unul față de altul, se calculează cu relația:

$$\alpha_{mp} = \frac{\rho}{\pi l}\left[\ln\left(\frac{l}{a_{mp}} + \sqrt{\frac{l^2}{a_{mp}^2} + 1}\right) + \frac{a_{mp}}{l} - \sqrt{\frac{a_{mp}^2}{l^2} + 1}\right] \qquad (2.7)$$

Rezistența reciprocă a doi electrozi perpendiculari de lungime $L_1$ şi, respectiv, $L_2$ (vezi figura A.2.1) îngropați la adâncimea t în mediu semiinfinit de rezistivitate ρ, se calculează cu relația:

$$\alpha_{m^2} = \frac{\rho}{2\pi L_1 L_2}\left[l_1 \operatorname{arcsh}\frac{l_2}{l_1} + l_2 \operatorname{arcsh}\frac{l_1}{l_2} + l_2 \operatorname{arcsh}\frac{l_3}{l_2} + l_3 \operatorname{arcsh}\frac{l_2}{l_3} + l_3 \operatorname{arcsh}\frac{l_4}{l_3} + \right.$$

$$\left. + l_4 \operatorname{arcsh}\frac{l_3}{l_4} + l_4 \operatorname{arcsh}\frac{l_1}{l_4} + l_1 \operatorname{arcsh}\frac{l_4}{l_1}\right] \qquad (2.8)$$

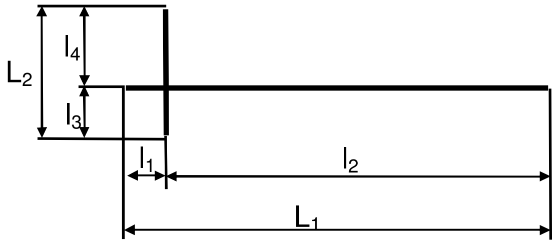



Fig. A.2.1.

În cazul în care o lungime $l_1$ este 0, atunci termenii care o conțin sunt nuli, deoarece:

$$\lim_{l_i \to o} \operatorname{arcsh}\frac{l_i}{l_k} = 0 \quad \text{şi} \quad \lim l_i \operatorname{arcsh}\frac{l_k}{l_i} = 0 \qquad (2.9)$$

Rezistența reciprocă dintre un electrod "p" de lungime "l" şi un punct "k" se calculează cu relația:

$$\beta_{kp} = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{(r_1 + r_2) + l}{(r_1 + r_2) - l} \qquad (2.10)$$

unde:

$r_1$ şi $r_2$ sunt distanțele de la capetele electrodului la punctul considerat.

Rezolvând sistemul de ecuații 2.3 se determină potențialul prizei de dirijare a distribuției potențialelor $U_p$ şi curenții $i_p$ ce se scurg în pământ prin electrozii prizei. Cu ajutorul relației 2.10 se determină potențialele în diferite puncte de pe suprafața solului, obținând astfel distribuția potențialelor $U_k$ şi apoi coeficienții de atingere şi de pas cu relațiile:

$$k_a = \frac{U_p - U_k}{U_p} \quad \text{şi} \quad k_p = \frac{U_{k+1} - U_k}{U_p} \qquad (2.11)$$

Metodologia de calcul prezentată mai sus stă la baza programului de calcul pentru dimensionarea instalațiilor complexe de legare la pământ cu electrozi verticali şi orizontali din stațiile electrice de înaltă tensiune. Programul de calcul poartă denumirea "INCO" şi este în biblioteca "ELECTRA".

În urma execuției programului INCO se obțin următoarele rezultate:

a) matricea coeficienților sistemului de ecuații 2.3 şi termenii liberi ai sistemului;
b) rezistența de dispersie a prizei de dirijare a distribuției potențialelor $R_{pd}$;
c) rezistența echivalentă a sistemelor formate din conductorul de protecție al LEA şi prizelor stâlpilor LEA;

d) rezistența de dispersie a conturului metalic care înconjoară stația în cazul în care coeficientul de atingere maxim admis este mai mare decât 0,08;
e) rezistența de dispersie a prizei cu electrozi verticali $R_{pv}$ şi a prizei cu electrozi orizontali $R_{po}$, asociată prizei cu electrozi verticali;
f) rezistența de dispersie totală a instalației de legare la pământ $R_{pt}$;
g) potențialul instalației de legare la pământ $U_{pt}$;
h) coeficientul de atingere maxim admis $k_{am}$;
i) curenții care se scurg de pe electrozii prizei de dirijare a distribuției potențialelor.

Pentru calcule informative în cele ce urmează se prezintă o metodă de calcul simplificat, care permite determinarea cu o aproximație admisibilă a coeficienților de atingere şi de pas pentru prizele de dirijare cu electrozi orizontali.

Valorile maxime ale coeficienților de atingere pe suprafața prizei de dirijare (în zone extreme ale suprafeței) se determină cu relația 2.13.

Pe suprafața prizei de dirijare, coeficienții de pas nu depăşesc, în general, valorile coeficienților de atingere, astfel încât se poate considera:

$$k_a = k_{pas} \qquad (2.12)$$

Pentru dimensionarea instalației de dirijare se poate folosi relația:

$$k_a = \frac{0{,}7}{\frac{1}{2\pi}\left(\ln\frac{L^2}{dt_1} + A\right)} \qquad (2.13)$$

Coeficientul maxim de pas, în afara prizei şi în imediata apropiere a acesteia, se poate determina cu o aproximație acceptată, folosind relația:

$$k_{pas} = \frac{k_s \cdot k_1}{\frac{1}{2\pi}\left(\ln\frac{L^2}{dt_1} + A\right)} \qquad (2.14)$$

În relația (2.14) şi numai pentru n ≥ 3:

$$k_i = 0{,}65 + 0{,}172\ n,\ \text{iar} \qquad (2.15)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{2t_2} + \frac{1}{a + t_2} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{3a} + \ldots + \frac{1}{(n-1)a}\right) \qquad (2.16)$$

$$A = l_n \frac{l^{2n-1}}{a^{2n-3} \cdot L^2\left[\left(\frac{n}{2} - 1\right)!\right]^2 \cdot (n-1)!} \qquad (2.17)$$

în care:

a reprezintă distanta între doi electrozi paraleli (m);
l - lungimea unui singur electrod (m) (lungimea mare a dreptunghiului în care se înscrie rețeaua de dirijare);
n - numărul de electrozi paraleli;
L - lungimea însumată a electrozilor paraleli care alcătuiesc priza orizontală (m); $L = n \cdot l$;
$t_1$ - adâncimea de îngropare a electrozilor paraleli (m);
d - diametrul unui electrod; în cazul electrozilor alcătuiți din bandă d = b/2, unde b este lățimea benzii (m);
$t_2$ - adâncimea de îngropare a electrozilor orizontali de pe conturul extrem al prizei de pământ artificiale.

Notă. Dacă n este număr impar, în locul expresiei

$$\left(\frac{n}{2} - 1\right)! \quad \text{se va considera} \quad \left(\frac{n+1}{2} - 1\right)!$$

Coeficienții de pas pentru punctele aflate la o anumită distanță în exteriorul zonei ocupate de prizele de pământ nu pot fi calculați cu relația 2.14.

Indiferent de modul real de distribuţie a electrozilor orizontali ai prizei de dirijarea distribuţiei potenţialelor, pentru calcule, folosindu-se relaţiile 2.13 … 2.17, se va considera o reţea cu electrozii orizontali dispuşi pe latura mare a prizei de dirijarea distribuţiei potenţialelor. Astfel lungimea electrodului va fi "*l*" egală cu latura mare a reţelei de dirijare, iar pentru distanţa "*a*" între electrozi paraleli se va considera distanţa medie dintre electrozii din distribuirea reală. Se va ţine seama că relaţiile 2.13 … 2.17 sunt valabile pentru o reţea de dirijare ideală cu electrozi orizontali paraleli cu latura mare, iar distanţa "*a*" dintre aceştia este egală (o constantă). Calculele astfel efectuate dau rezultate cu o aproximaţie acceptată.

În cazul în care în afară de electrozii orizontali paraleli există şi alţi electrozi orizontali care dau prizei forma unei plase (în cazurile reale se adaugă conductoarele de ramificaţie şi prizele naturale) existente care determină configuraţia unei reţele buclate (unui caroiaj), relaţiile 2.13 şi 2.14 devin:

$$k_a = \frac{0{,}7}{\frac{1}{2\pi}\left(\ln\frac{L^2}{dt} + 2A\right)} \qquad (2.18)$$

şi

$$k_{pas} = \frac{k_s \cdot k_i}{\frac{1}{2\pi}\left(\ln\frac{L^2}{dt} + 2A\right)} \qquad (2.19)$$

Pentru cazul staţiilor de tip interior, se poate aplica următoarea metodă de calcul al coeficienţilor de pas la periferia prizei de pământ artificiale.

Se asimilează priza de pământ artificială împreună cu clădirea în care se află staţia electrică, cu o priză de pământ în formă de placă dreptunghiulară aşezată pe suprafaţa solului şi având dimensiunile egale cu ale prizei de pământ artificiale.

Coeficientul de pas, în acest caz, poate fi calculat cu relaţia:

$$k_{pas} = 9\frac{\sqrt{S}}{D^2} \cdot l_m \qquad (2.20)$$

unde:

S este suprafaţa ocupată de priza în formă de placă ($m^2$);
D - diagonala prizei în formă de placă (m);
$l_m$ - lungimea pasului (m).

Se consideră $l_m \approx 0{,}8$ m.

Această relaţie corespunde unei adâncimi de îngropare a electrozilor de dirijare t = 0,3 - 0,4 m. Pentru adâncimi de îngropare mai mari se va considera un coeficient de corecţie K. Astfel, relaţia 2.17 devine:

$$k_{pas} = K \cdot 7{,}2 \cdot \frac{\sqrt{S}}{D^2} \qquad (2.21)$$

k = 1 pentru t = 0,30 ... 0,4 m;
K = 0,7 pentru t = 0,5 m;
K = 0,5 pentru t = 0,8 m;
K = 0,4 pentru t = 1 m.

Pentru determinarea potentialelor $U_k$ ale punctelor de pe suprafaţa solului, aflate la distanţa D faţă de marginea prizei de pământ complexe (a staţiei exterioare sau interioare), se va asimila aceasta din urmă cu o priză dintr-o placă; suprafaţa plăcii S se consideră egală cu aceea a terenului cuprins în conturul marginal (exterior) al prizei respective. Potenţialele $U_k$ se vor determina cu relaţia:

$$U_k = U_p \frac{2\alpha}{\pi}$$

unde:

$U_p$ reprezintă tensiunea totală a instalaţiei de legare la pământ ($U_p = I_p \cdot R_p$);
a - termenul care ţine seama de distanţa D în raport cu întinderea prizei;

$$\alpha = \mathrm{arctg}\frac{R}{\sqrt{D^2 + 2DR}}$$

R - raza plăcii circulare, care are o suprafaţă echivalentă S`.

$$R = \sqrt{\frac{S`}{\pi}}$$

De exemplu: dacă D = R, rezultă $\alpha = \text{arctg}\frac{1}{3}$

şi deci:

$$U_k = \frac{2U_p}{\pi} \cdot \frac{\pi}{6}\ ; \qquad U_k = \frac{1}{3} \cdot U_p$$

A.2.3. În cazul prizelor de dirijare a distribuţiei potenţialelor indicate în prezentele instrucţiuni, pentru stâlpii liniilor electrice aeriene (fig.4 şi fig.5) se pot considera în calcule următorii coeficienţi medii de atingere şi de pas:

a) Pentru priza de dirijare cu trei inele şi patru raze (fig.4):

$k_a = k_{pas} = 0{,}1$

În acest caz, la stâlpii din afara incintelor industriale se consideră satisfăcută condiţia privind tensiunile limită de atingere şi de pas, dacă tensiunea totală a prizei de pământ de la stâlp este:

$$U_p = R_p \cdot i_p \leq 2500\text{ V}$$

în care:

$R_p$ reprezintă rezistenţa de dispersie a prizei stâlpului, nelegată la conductorul de protecţie al liniei respective (Ω);

$i_p$ - partea din curentul total de defect care trece prin priza stâlpului (A).

b) Pentru priza de dirijare cu două inele şi patru raze (fig.5):

$k_a = k_{pas} = 0{,}3$

În situaţiile în care la verificările prin măsurări, efectuate înainte de punerea sub tensiune a liniei respective, se constată coeficienţii de atingere şi de pas mai mari decât cei indicaţi mai sus, în vederea micşorării tensiunilor de atingere şi de pas se va aplica o izolare a amplasamentului prin acoperirea cu balast sau asfalt a zonei în care s-a constatat depăşirea tensiunii maxime de atingere şi de pas (conform indicaţiilor din anexa 4).

A.2.4. În cazul stâlpilor şi posturilor de transformare pe stâlpi şi în cabine (metalice sau zidite), electrozii orizontali de dirijare a distribuţiei potenţialelor vor fi de formă circulară sau dreptunghiulară.

**ANEXA 3**

## A.3. Verificarea condițiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ

A.3.1. În calculele de verificare la stabilitatea termică a prizelor de pământ, se va avea în vedere ca densitatea de curent “j” maximă admisă la suprafața electrozilor să fie astfel determinată, încât temperatura pe această suprafață să nu depăşească $\theta_{max}$ = 95$^0$C. De asemenea, se va urmări să nu apară o creştere de temperatură $\theta = \theta_{max} - \theta_0$ mai mare de 60$^0$C.

A.3.2. În cazul unui regim termic de scurtă durată de ordinul secundelor, se va îndeplini următoarea condiție de stabilitate termică:

$$J = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \theta}{\rho \cdot t}} \qquad (3.1)$$

unde:

J reprezintă densitatea de curent la suprafața prizei (A/m$^2$);

$\gamma$ - căldura specifică medie a pământului $\left(\frac{W \cdot s}{^0C \cdot m^3}\right)$;

dacă nu dispunem de valori măsurate se poate considera în calcule valoare:

$$\gamma = 1{,}7 \cdot 10^6 \frac{W \cdot s}{^0C \cdot m^3}$$

$\theta$ - creşterea de temperatură ($^0$C).
Se va considera: $\theta = \theta_{max} - \theta_0 = 60^0$C

$\rho$ - rezistivitatea solului ($\Omega$m);

t - durata regimului termic (s).

Criteriul de verificare la regimul termic de scurtă durată îl va putea constitui şi tensiunea totală a prizei de pământ $U_p = R_p \cdot I_p$ (în V). În acest caz, tensiunea de verificare devine:

$$U_p \le R_p \cdot S\sqrt{\frac{\gamma \cdot \theta}{\rho \cdot t}} \qquad (3.2)$$

în care:

S este suprafața în contact cu solul, pe care trebuie să o prezinte electrozii prizei de pământ pentru trecerea curentului de punere la pământ (m$^2$).

În cazul prizelor de pământ complexe, pentru un calcul acoperitor la determinarea suprafețelor efectiv necesare se vor considera coeficienții respectivi de utilizare.

De exemplu, pentru prizele complexe din electrozi verticali şi orizontali va rezulta:

$$S = \eta_v S_v + \eta_0 S_0 \ge I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}}$$

unde:

$S_v$ şi $S_o$ reprezintă suma suprafețelor laterale ale electrozilor verticali şi ale celor orizontali;

$\eta_v$ şi $\eta_0$ - coeficienții de utilizare a prizelor verticale şi a celor orizontale.

În cazul unui regim termic cu timp limitat, de ordinul minutelor, se vor considera valorile din tabelul A.3.1. în funcție de rezistivitatea solului, pentru o tensiune totală:

$U_p$ = 125 V

Tabelul A.3.1.

Duratele maxime admise

| Rezistivitatea solului, $\rho$ $\Omega$m | Durata maximă admisă în minute, t | |
|---|---|---|
| | Priza verticală din țevi L=1,5...3m; d ≈ 2`` ; d = 60 mm | Priză orizontală din oțel lat sau rotund |
| 50 | 100 | 30 |
| 100 | 200 | 60 |
| 200 | 400 | 120 |
| 300 | 600 | 180 |

Tensiunea $U_p$ maximă ce se poate admite pentru un anumit timp (t`), diferit, însă mai mic decât cel indicat în tabelul A.3.1. se va obține din relația:

$$U_p \leq 125\sqrt{\frac{t}{t`}} \qquad (3.3)$$

A.3.3. În cazul unui regim termic cu un timp nelimitat, trebuie să fie îndeplinită următoarea condiție de stabilitate termică:

$$U_p \leq \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \theta} \qquad (3.4)$$

unde:

$U_p$ este tensiunea totală a prizei (V);
($U_p = R_p \cdot I_p$);

$\rho$ - rezistivitatea solului (Ωm);

$\lambda$ - conductivitatea medie a pământului (W/$^0$Cm);
dacă nu se dispune de valori măsurate, se poate considera în calcule: $\lambda$ = 1,2 W/$^0$C

$\theta$ - creşterea de temperatură ($^0$C). Se poate considera $\theta$ = 60 $^0$C

A.3.4. În cazul în care satisfacerea condițiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ duce la cheltuieli mari, se acceptă depăşirea densităților de curent maxime admise, numai dacă se iau măsurile necesare de verificare a bunei stări a prizelor de pământ după fiecare defect cu punere la pământ.

A.3.5. Secțiunile conductoarelor de legătură dintre electrozii prizei de pământ se vor determina astfel, încât să se satisfacă condițiile de stabilitate termică (vezi indicațiile din anexa 5).

Dacă aceste conductoare nu sunt folosite şi drept electrozi ai prizei de pământ, se va avea în vedere ca densitatea de curent maximă prin conductoare să fie astfel determinată, încât temperatura lor să nu depăşească valoarea de 200 $^0$C în medii cu pericol de incendiu şi 300 $^0$C, dacă nu există un asemenea pericol.

A.3.6. Dacă electrozii sunt dispuşi pe un contur închis, în calculele privind verificarea la stabilitate termică se poate considera curentul:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

unde:

$I_d$ este intensitatea curentului de defect care trece prin conductoarele instalației de legare la pământ respective.

A.3.7. Conductoarele de legătură dintre electrozii prizei de pământ vor fi considerate şi electrozi ai prizei de pământ, dacă îndeplinesc condițiile menționate la astfel de electrozi şi nu sunt acoperiți cu vopsea sau alte materiale izolante.

Secțiunile conductoarelor de legătură dintre electrozii prizei de pământ, fie că sunt sau nu considerate electrozi ai prizei, vor fi cel puțin egale cu ale conductoarelor de legătură la priză, calculate conform anexei 5.

A.3.8. Indiferent de rezultatul calculelor privind verificarea la stabilitate termică, secțiunile conductoarelor de legătură dintre electrozii prizei trebuie să fie cel putin egale cu valorile minime indicate în STAS 12604/5-89 pentru electrozii prizei.

**ANEXA 4**

## A.4. Izolarea amplasamentelor

A.4.1. Izolarea amplasamentelor se va aplica în cazul în care valorile $U_a^`$ şi $U_{pas}^`$ rezultate în urma dirijării distribuţiei potenţialelor, depăşesc valorile tensiunilor de atingere $U_a$ şi $U_{pas}$ maxime admise de STAS 12604/4-89.

A.4.2. Rezistenţa de izolare a amplasamentelor $R_d$ (kΩ) trebuie să prezinte următoarele valori:

- în instalaţiile interioare:

$$R_d \geq 3\left(\frac{U_a^1}{U_a} - 1\right),$$ însă nu mai puţin de 50 kΩ;

- în instalaţiile exterioare, considerând materialele de izolare în condiţii de umiditate excesivă:

$$R_d \geq 6\left(\frac{U_a^1}{U_a} - 1\right)$$

A.4.3. La alegerea materialelor de acoperire cu rezistivitate mare, pentru instalaţiile exterioare, se va folosi relaţia:

$$R_d = \frac{\rho}{2}\left(\frac{h}{600} + \frac{1}{55 \cdot 2\chi}\right) \cdot 10^{-3}$$

în care:

$R_d$ este rezistenţa izolării amplasamentului (kΩ);

ρ - rezistivitatea materialului izolant în condiţii de umiditate (Ωm);

h - grosimea stratului de izolare (cm);

χ - raportul dintre rezistivitatea materialului de izolare ρ şi rezistivitatea solului $\rho^`$;

$$\chi = \frac{\rho}{\rho^`}$$

A.4.4. Ca material pentru izolarea amplasamentului se pot folosi:

- piatra spartă (balast) de granulaţie mare (Φ ≥ 3 cm) curată, fără pământ, într-un strat de cel puţin 15 cm (h = 15 - 20 cm); se poate considera în calcule (pentru stare umedă) $\rho = 50 \times 10^4$ Ωcm, rezultând o rezistenţă $R_d \approx 6000$ Ω şi o tensiune de atingere şi de pas:

$$U_a = \frac{U_a^`}{\alpha_a} \quad \text{şi} \quad U_{pas} = \frac{U_{pas}^`}{\alpha_{pas}}$$ unde $\alpha_a = 2$ şi $\alpha_{pas} = 5$ ($\alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3$)

- dale de beton; în acest caz, se pot considera în calcule:

$$U_a = \frac{U_a^`}{3} \quad \text{şi} \quad U_{pas} = \frac{U_{pas}^`}{9}$$ unde $\alpha_a = 3$ şi $\alpha_{pas} = 9$

- un strat de asfalt cu grosimea de 2-4 cm; în acest caz se pot considera în calcule:

$$U_a = \frac{U_a^`}{5} \quad \text{şi} \quad U_{pas} = \frac{U_{pas}^`}{17}$$ unde $\alpha_a = 5$ şi $\alpha_{pas} = 17$

După cum rezultă de mai sus (a se vedea STAS 12604/5-90), coeficientul de izolare a amplasamentului $\alpha_a$ este egal cu:

$\alpha_a = 2$ şi $\alpha_{pas} = 5$ în cazul balastului cu piatră spartă de 15 cm (grosime a stratului);

$\alpha_a = 3$ şi $\alpha_{pas} = 9$ în cazul dalelor de beton;

$\alpha_a = 5$ şi $\alpha_{pas} = 17$ în cazul asfaltului de 2 cm grosime.

**ANEXA 5**

## A.5. Conductoare utilizate pentru executarea instalaţiilor de legare la pământ

A.5.1. Conductoarele folosite pentru executarea instalaţiilor de legare la pământ vor fi din oţel sau cupru. Conductoarele din aluminiu sunt admise numai dacă fac parte dintr-un cablu cu înveliş protector şi împotriva solicitărilor mecanice.

A.5.2. Alegerea conductoarelor se va face ţinându-se seama de următoarele condiţii:
- să prezinte o rezistenţă electrică cât mai mică posibil, pentru a nu mări rezistenţa întregii instalaţii de legare la pământ;
- să fie rezistente la solicitări mecanice şi la coroziune;
- să suporte în permanenţă curenţii electrici posibili, fără ca temperatura lor să depăşească valoarea de 200 $^0$C în medii cu pericol de incendiu şi de 300 $^0$C dacă nu există acest pericol.

A.5.3. Conductoarele neîngropate şi neizolate pot fi protejate împotriva corodării prin vopsire. Conductoarele speciale, destinate legării la pământ, vor fi vopsite în culoare neagră.

A.5.4. Drept conductoare pentru executarea instalaţiei de legare la pământ se vor folosi în primul rând construcţiile metalice ale clădirilor în care se află instalaţia electrică respectivă sau construcţii metalice fixe, cum sunt:
- construcţiile metalice utilizate în producţie (căile de rulare ale macaralelor, galeriile, platformele, casele ascensoarelor, corpurile aparatelor de ridicat);
- părţile de susţinere si carcasele instalaţiilor de distribuţie (de exemplu, cutiile din oţel în care sunt închise instalaţiile electrice cu bare);
- ţevile de forare, la planşeele metalice ale construcţiilor hidrotehnice, ţevile din oţel pentru conductoarele instalaţiilor electrice;
- funiile din oţel de suspensie pentru conductoare şi cabluri, cu verificările rezistenţei lor mecanice în condiţiile trecerii unui curent de defect prin aceste funii;
- armăturile metalice ale construcţiilor de beton armat.

Elementele de mai sus se pot utiliza drept conductoare de legare la pământ, numai dacă îndeplinesc condiţiile:
- prezintă continuitate electrică de rezistenţă neglijabilă şi sigură în exploatare;
- se pot prevedea măsuri astfel încât în caz de deteriorare a unor porţiuni, legarea la pământ să fie totuşi asigurată;
- se îndeplinesc condiţiile privind secţiunile minime admise;
- în cazul folosirii armăturilor metalice ale construcţiilor de beton armat se prevăd în mod special locuri de racord uşor accesibile şi sunt executate sudurile necesare pe toată întinderea armăturilor, pentru a asigura continuitatea electrică.

A.5.5. Se interzice folosirea drept conductor de legare la priza de pământ a învelişurilor metalice ale tuburilor de protecţie din instalaţiile electrice, a mantalelor de plumb şi a armăturilor de oţel ale cablurilor.

A.5.6. În cazul folosirii elementelor menţionate la punctul A.5.4. drept conductoare de legare la pământ principale, legarea conductoarelor de ramificaţie la ele se poate executa fie direct, fie prin intermediul unor conductoare intermediare (comune), care trebuie să aibă însă secţiunea cel puţin egală cu cea indicată pentru conductoarele principale şi care să constituie pe cât posibil circuite închise.

A.5.7. Legăturile de ramificaţie la conductoarele principale de legare la pământ se vor executa pentru fiecare element legat la pământ în parte; este interzisă legarea în serie a două sau a mai multor elemente şi apoi legarea la conductorul principal.

A.5.8. Pentru verificarea la stabilitate termică a secţiunii conductoarelor de legare la pământ şi anume a conductoarelor principale de legare la pământ, a conductoarelor de ramificaţie şi a celor

de legătură la prizele de pământ, se vor considera următorii curenţi "I" care pot trece prin aceste conductoare;

- pentru conductoarele de ramificaţie:

$$I = I_d$$

- pentru conductoarele principale, dacă formează un circuit închis:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

- pentru conductoarele principale, dacă nu formează un circuit închis:

$$I = I_d$$

- pentru conductoarele de legătură la priza de pământ:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

unde:

$I_d$ este curentul de defect care trece prin instalaţia de legare la pământ.

În cazul reţelelor legate la pământ $I_d$ se ia egal cu valoarea curentului de scurtcircuit monofazat. Timpul se consideră cel al protecţiei de rezervă; dacă aceasta nu există, se ia timpul treptei a II-a, a protecţiei de bază.

În cazul reţelelor izolate faţă de pământ, se va considera $I_d$ egal cu valoarea curentului de scurtcircuit bifazat.

Dacă o astfel de dimensionare duce la cheltuieli mari, se vor considera timpii şi curenţii de punere la pământ menţionaţi la subcapitolele 3.2.2 - 3.2.5. În această situaţie, se vor verifica conductoarele de legare la pământ după fiecare scurtcircuit bifazat care a avut loc în instalaţie.

În tabelul A.5.1 se dau curenţii maximi admişi în conductoarele de legare la pământ pentru secţiuni până la 200 mm.

Tabelul A.5.1

Curenţii maximi admişi în conductoarele de legare la pământ

| Secţiunea | Curentul maxim admis de durată, A | | | Curentul maxim admis pentru t=1s, A | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Oţel | Cupru | Aluminiu | Oţel | Cupru | Aluminiu |
| 16 | - | 150 | - | - | 2500 | - |
| 25 | - | 200 | 160 | - | 4000 | 2700 |
| 35 | - | 280 | 200 | - | 5500 | 3700 |
| 50 | 150 | 480 | 250 | 3300 | 8000 | 5300 |
| 70 | 180 | 590 | 320 | 4700 | 11500 | 7400 |
| 100 | 240 | 780 | 430 | 6700 | 15000 | 10500 |
| 200 | 420 | 1380 | 760 | 13500 | 32500 | 21000 |

Notă: 1. Pentru 300 $^0$C valorile se vor înmulţi cu 1,2.

2. Conductoarele de aluminiu sunt admise numai dacă sunt protejate în tuburi de protecţie metalice sau fac parte dintr-un cablu cu înveliş protector împotriva solicitărilor mecanice.

Pentru cazurile care nu se încadrează în tabelul A.5.1 secţiunea conductoarelor se va stabili cu relaţia:

$$s \geq \frac{I_m}{j} \ (mm^2)$$

unde:

$I_m$ este curentul de defect mediu echivalent (A);

$$I_m = I \cdot \sqrt{t_f}$$

în care:

I reprezintă valoarea efectivă a curentului de defect stabilizat (A);

$t_f$ - timpul fictiv de trecere a curentului de defect (s);

j - densitatea de curent admisă (A/mm$^2$) pentru timpul de 1s; se vor considera următoarele valori pentru 200 $^0$C:

- pentru oțel: j = 70 A/mm$^2$;
- pentru cupru: j = 160 A/mm$^2$;
- pentru aluminiu: j = 100 A/mm$^2$;
- pentru oțel aluminiu: j = 100 A/mm$^2$;

Indiferent de rezultatele calculelor pentru dimensionarea conductoarelor de legare la pământ, secțiunile vor fi cel puțin egale cu cele indicate în tabelele A.5.2, A.5.3 şi A.5.4.

Tabelul A.5.2.

Secțiunea minimă a conductoarelor principale de legare la pământ şi a acelora dintre conductoarele principale şi prizele de pământ, mm$^2$

| Conductorul | Îngropat | | Montat aparent sau în canal |
|---|---|---|---|
| | Neprotejat | Protejat în țeavă de oțel | |
| - Conductor de oțel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 4 mm | 150*) | - | - |
| - Conductor de oțel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 3 mm | - | - | 100 |
| - Funie din oțel zincat | - | - | 95 |
| - Cupru masiv | 25 | 25 | 25 |
| - Funie de cupru | 35 | 25 | 25 |

*) În cazul instalațiilor şi echipamentelor electrice de joasă tensiune, se admite secțiunea minimă de 100 mm$^2$.

Tabelul A.5.3

Secțiunea minimă a conductoarelor de ramificație, mm$^2$

| Conductorul | Îngropat în pământ | Montat aparent sau în canal |
|---|---|---|
| - Conductor de oțel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 3 mm | 100 | 50 |
| - Funie din oțel zincat | - | 50 |
| - Cupru | 25 | 16 |

Tabelul A.5.4

Secțiunile minime ale conductoarelor de legare la pământ (principale sau de ramificație) montate în acelaşi tub de protecție cu conductoarele de lucru, mm$^2$

| Secțiunea conductorului de lucru | Cu<br>Al | ≤ 2,5<br>≤ 4 | 4<br>6 | 6<br>10 | 10<br>16 | 16<br>25 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Secțiunea minimă a conductorului de legare la pământ din cupru unifilar sau multifilar | Cu | 4 | 6 | 6 | 10 | 16 |

În cazul cablurilor, pentru secțiuni ale conductoarelor de lucru până la 16 mm$^2$ inclusiv, secțiunea conductorului de protecție înglobat în acelaşi cablu va avea o valoare egală cu secțiunea conductoarelor de lucru.

În cazul protecției prin legare la nul, secțiunea minimă a conductoarelor de protecție se va determina în conformitate cu condițiile indicate în STAS 12604/5-90 privind instalațiile de protecție prin legare la nul.

**ANEXA 6**

## A.6. Obiecte lungi care ies din zona de protecție

A.6.1. Dirijarea distribuției potențialelor poate realiza o bună protecție, doar în imediata apropiere a instalației sau a echipamentului respectiv. Obiectele lungi, care sunt în contact cu instalația de protecție sau puncte ale solului cu potențiale ridicate în cazul unui defect, pot prezenta tensiuni de atingere periculoase de-a lungul lor, datorită trecerii unor curenți prin ele. Se au în vedere, în special, următoarele obiecte şi instalații lungi:

- conductele de apă sau cu alte destinații;
- şinele de cale ferată;
- învelişurile metalice ale cablurilor.

Potențialul într-un punct al obiectului lung are expresia:

$$U_x = I_p \cdot \sqrt{r \cdot r_p}\,\frac{Ch\sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot x}{Sh\sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot l} \qquad (6.1)$$

în care:

$U_x$ reprezintă tensiunea față de un punct de potențial nul (V);
$I_p$ - curentul care intră într-un capăt al obiectului lung (în punctul x = 1);
x - distanța de la capătul opus față de punctul de intrare a curentului $I_p$ (km);
l - lungimea obiectului lung (km);
r - rezistența longitudinală pe unitatea de lungime (Ω/km);
$r_p$ - rezistența de trecere la pământ pe unitatea de lungime (Ω/km).

Expresia potențialului $U_x$ în funcție de tensiunea de legare la pământ $U_p$, este:

$$U_x = U_p \cdot \frac{Ch\sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot x}{Ch\sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot l} \qquad (6.2)$$

A.6.2. Dacă obiectul lung depăşeşte incinta sau zona de influență a instalației de legare la pământ, pentru micşorarea tensiunilor $U_x$ pe obiectul lung, precum şi a tensiunilor de atingere şi de pas în apropierea acestuia, se vor aplica una sau mai multe din următoarele măsuri, în funcție de valorile $U_p$, x şi l:

- mărirea rezistenței longitudinale r prin intercalarea unor elemente izolante în lungul obiectului; de exemplu, şinele de cale ferată vor fi prevăzute cu trei joante, izolate la ieşirea acestora din incinta respectivă;
- micşorarea rezistenței de trecere la pământ $r_p$ prin legarea pe traseu la prizele de pământ naturale întâlnite; de exemplu, în cazul conductelor metalice instalate în tuneluri se vor realiza legături electrice între conducte şi între acestea şi armătura metalică a tunelului de beton armat;
- legarea obiectelor la instalațiile de legare la pământ din incinta în care pătrunde obiectul respectiv; de exemplu, învelişurile metalice ale cablurilor şi ale conductelor care ies din incintă şi ajung în incinta altei unități se vor racorda şi la instalația de legare la pământ a acestora din urmă;
- realizarea unor dirijări a distribuției potentialelor în jurul obiectelor accesibile; de exemplu, în jurul hidranților de apă racordați la o rețea de apă, care depăşeşte zona de influență a instalației de legare la pământ.

A.6.3. La cablurile de telecomunicații, de comandă sau control, care intră în incinta stațiilor şi centralelor electrice, se va avea în vedere pericolul străpungerii izolației conductoarelor în cazul unei puneri la pământ.

Tensiunea la care este solicitată izolația cablului $U_r$ trebuie să satisfacă relația:

$$U_r \le 0{,}85 \cdot U_i$$

în care:

$U_i$ reprezintă tensiunea de încercare a izolației cablului respectiv.

Tensiunea la care este supusă izolația cablului se determină cu relația:

$$U_r = U_p \cdot r = I_p \cdot R_p \cdot r$$

unde:

$U_p$ reprezintă tensiunea instalației de legare la pământ;

r - factorul de reducere a cablului respectiv (vezi STAS 832-79).

A.6.4. Pentru micşorarea valorii tensiunii care solicită izolația cablului se vor folosi cablurile cu înveliş metalic şi armate cu factori de reducere cât mai mici, şi anume, cu conductibilitate cât mai mare şi permeabilitate cât mai bună.

În cazul stațiilor cu tensiunea de 110 kV sau mai mult, se vor utiliza cabluri cu izolația încercată la o tensiune cel puțin egală cu 4 kV, timp de 2 minute.

A.6.5. În cazul intercalării unor elemente izolante de rezistență $r_z$ relațiile de mai sus devin:

$$I_{pc} = U_p \frac{1}{\sqrt{r \cdot r_p}\,\mathrm{ctgh}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z}$$

şi

$$U_x = U_p \frac{\mathrm{ch}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\mathrm{ch}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z \frac{\mathrm{sh}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l}{\sqrt{r \cdot l \cdot r_p}}}$$

Dacă se acoperă în orice situație un coeficient de atingere de cel mult $k_a = 0{,}8$, $U_a = 0{,}8\ U_x$ şi rezultă condiția:

$$0{,}8 \cdot U_p \frac{\mathrm{ch}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\mathrm{ch}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z \frac{\mathrm{sh}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l}{\sqrt{r \cdot l \cdot r}}} \le U_a$$

De aici reiese condiția pentru elementele izolante care trebuie intercalate pentru limitarea tensiunii de atingere sub valorile admise, respectiv determinarea rezistenței de izolare $r_z$ a acestor elemente, şi anume:

$$r_z \ge 0{,}8\sqrt{r \cdot l \cdot r_p}\,\frac{U_p}{U_a} \frac{\mathrm{ch}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\mathrm{sh}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l} - \sqrt{r \cdot l \cdot r_p}\,\mathrm{ctg\,g}\sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l$$

Pentru siguranță, totdeauna trebuie suplimentat numărul elementelor izolante rezultat din calculul de mai sus cu cel puțin un element.

Dacă elementele lungi, de exemplu anumite conducte, sunt izolate față de pământ, rezultă necesar să se determine tensiunea de atingere în incinta în care intră conducta, respectiv la instalația de legare la pământ de rezistență $R_p$ la care este racordat capătul din instalația electrică cu defect.

Se notează cu:

$R_{pc}$ - rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ la care se racordează capătul opus al conductei;

$Z_{co}$ - impedanța echivalentă de calcul a conductorului constituit de conducta în cauză;

$r_{zc}$ - rezistența de izolare a elementelor izolante intercalate pentru limitarea tensiunii de atingere;

$i_{pc}$ - componenta din curentul $I_p$ care trece prin priza de pământ de rezistență $R_{pc}$ de la capătul opus al conductei;

$U_{pc}$ - tensiunea prizei de pământ de rezistență $R_{pc}$;

$U_{pc} = R_{pc} \cdot i_{pc}$

$k_a$ - coeficientul de atingere la instalația de legare la pământ de rezistență $R_{pc}$.

Curentul $i_{pc}$ se poate determina cu următoarea relație:

$$i_{pc} = I_p \frac{R_p}{R_p + Z_{co} + r_{zc} + R_{pc}}$$

Rezultă următoarea condiție:

$$k_a \cdot U_{pc} = k_a \cdot R_{pc} \cdot i_{pc} \le U_a ,$$

$U_a$ fiind tensiunea de atingere maxim admisă în cazul unui defect în instalația electrică cu defect, în funcție de categoria zonei şi timpul de declanşare.

Condiția de mai sus se poate scrie astfel:

$$k_a r_p I_p \frac{R_p}{R_p + Z_{co} + r_{sc} + R_{pc}} \le U_a$$

sau

$$\frac{k_a U_p}{1 + \dfrac{R_p + Z_{co} + r_{zc}}{R_{pc}}} \le U_a$$

De aici rezultă condiția pentru elementul izolant intercalat:

$$r_{zc} \ge R_{pc}\left(k_a \frac{U_p}{U_a} - 1\right) - \left(R_p + z_{co}\right)$$

Pentru siguranță totdeuna trebuie suplimentat numărul elementelor izolante rezultate din calculul de mai sus, cu cel puțin încă un element izolant.

**ANEXA 7**

## Determinarea curenților de scurtcircuit care trec prin priza de legare la pământ a stâlpilor liniilor electrice aeriene

Din curentul total de scurtcircuit (de defect) $I_d$ care apare la stâlpul unei linii, numai o cotă parte $i_p$ se scurge prin stâlp spre pământ, deci prin priza de legare a stâlpului la pământ, astfel:

$$i_p = \varepsilon_p \cdot I_p \qquad (7.1)$$

în care:

$i_p$ este curentul care trece prin priza de pământ (A);

$\varepsilon_p$ - coeficientul de repartiție pentru curentul care trece prin priză;

$I_p$ - curentul de scurtcircuit monofazat al liniei, în punctul considerat şi la timpul considerat al protecției (A) ($I_p$ = $I_d$).

În cazul alimentării liniei de la ambele capete, curentul $I_d$ se compune astfel:

$$I_d = I_{dA} + I_{dB}$$

unde:

$I_{dA}$ şi $I_{dB}$ sunt valorile curenților de scurtcircuit monofazat în punctul considerat, provenind din stația de la capătul A, respectiv, capătul B al liniei.

Coeficientul $\varepsilon_p$ se determină cu relația:

$$\varepsilon_p = \frac{r \cdot R_F}{R_p} \qquad (7.2)$$

în care:

r este factorul de reducere a conductorului (conductoarelor) de protecție;

$R_F$ - impedanța totală la locul de scurtcircuit;

$R_p$ - rezistența de dispersie a prizei de pământ de la stâlp.

Mărimile enumerate se calculează astfel:

$$r = \frac{Z_{\upsilon\mu}}{Z_\upsilon} \qquad (7.3)$$

$$R_F = \frac{W_f \cdot R_p}{W_r + 2R_p} \qquad (7.4)$$

în care:

$Z_{\nu\mu}$ reprezintă impedanța mutuală echivalentă a sistemului de conductoare active şi de protecție ale liniei;

$Z_\nu$ - impedanța proprie echivalentă a conductorului de protecție pentru sistemul de conductoare etc.;

$W_r$ - impedanța de lanț, adică impedanța căilor de întoarecere a curentului de scurtcircuit de la locul de defect la sursă.

Acestea din urmă se calculează în funcție de sistemul conductoarelor active şi de protecție ale liniei şi în funcție de locul unde se consideră scurtcircuitul.

Aceste calcule sunt dificile şi, de aceea, se vor efectua numai atunci când se urmăreşte o mare precizie a rezultatelor. Modurile de întocmire a calculelor sunt indicate în literatura de specialitate.

În calculele cu o aproximație acceptabilă se pot lua în considerare pentru coeficienții de repartiție $\varepsilon_p$ valorile din tabelul A.7.1.

Pentru determinările prealabile ale curenților $i_p$ care trec prin prizele de pământ ale stâlpilor, se vor folosi diagramele din figurile A.7.1 şi A.7.2, care indică $r \cdot R_F = \frac{U_p}{I_p}$, în funcție de rezistența medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei electrice aeriene respective $R_p$ de tipul conductorului de protecție şi de deschiderea medie între stâlpi şi pentru ρ = 100 Ωm.

$U_p$ este tensiunea prizei de pământ la locul defectului;

$I_p$ - curentul total de punere la pământ la locul defectului.

Curbele 3a, 3b se referă la tensiunea de 400 kV.

Curba superioară este pentru tensiunea de 220 kV, iar cea inferioară pentru 110 kV.

Curentul prin priza de pământ a stâlpului rezultă din relația:

$$i_p = r \cdot R_F \cdot \frac{I_p}{R_p} \qquad (7.5)$$

unde:

$R_p$ este rezistența de dispersie a prizei de pământ de la stâlpul considerat.

Pentru determinarea tensiunilor de atingere şi de pas este necesar să se cunoască tensiunea totală la stâlp.

Ea se obține din relația:

$$U_p = r \cdot R_F \cdot I_p \qquad (7.6)$$

În figura A.7.1 este prezentat produsul ($r{\cdot}R_p$) în funcție de rezistența medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protecție al liniei şi de deschiderea medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului ρ = 100 Ωm.

1 reprezintă conductorul de protecție OL 70 mm$^2$; deschiderea între stâlpi:
a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2 - conductorul de protecție OLS 95 AL/50, OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

3 - conductorul de protecție OL AL S 150/AL/95 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;
(Curba superioară este pentru tensiunea de 220 şi 400 kV, iar cea inferioară pentru 110 kV).

În figura A.7.2 este prezentat produsul ($r{\cdot}R_p$) în funcție de rezistența medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protecție al liniei şi de deschiderea medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului ρ = 100 Ωm.

1, 2 sunt conductoarele de protecție OL 70 mm$^2$;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2, 2 sunt conductoarele de protecție OL AL 150 AL/50 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2, 3 sunt conductoarele de protecție OL AL 150 AL/95 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m.

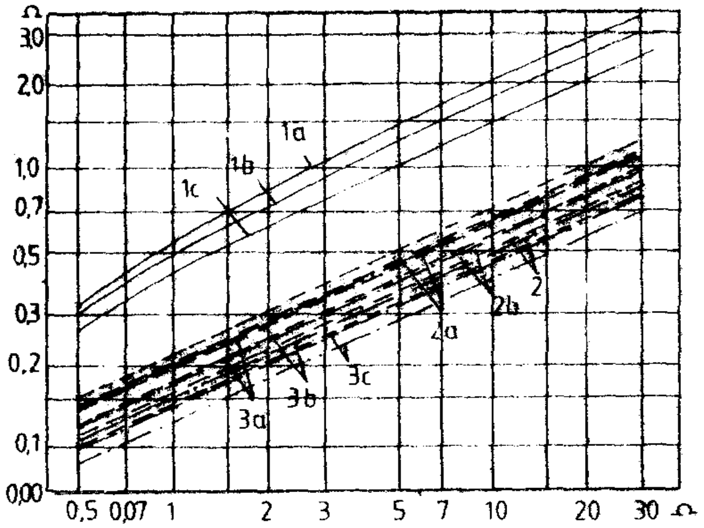



Figura A.7.1- Produsul ($rR_f$) în funcție de rezistența medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protecție al liniei şi de deschidere medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului ρ = 100 Ωm:
1 - conductor de protecție OL 70 mm$^2$; deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
2 - conductor de protecție OL S 95 AL /50 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
3 - conductor de protecție OL AL S 150 AL /95 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
(curba superioară este pentru tensiunea de 220 şi 400 kV, iar cea inferioară pentru 110 kV).

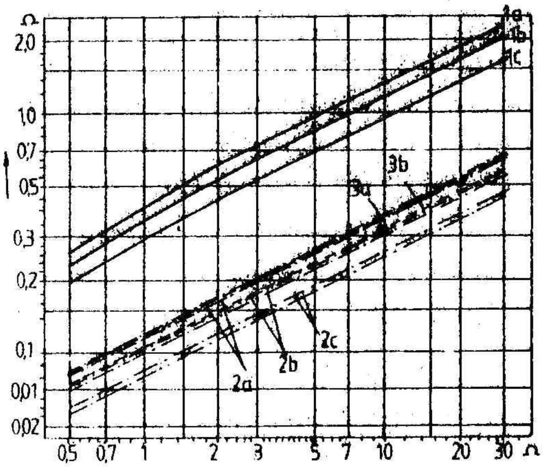



Figura A.7.2- Produsul ($rR_f$) în funcție de rezistența medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protecție al liniei şi de deschidere medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului $\rho$ = 100 Ωm:

1 - conductoare de protecție OL 70 mm²; deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m

2 - conductoare de protecție OL AL 150 AL /60 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m

3 - conductoare de protecție OL AL 150 AL /95 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m

Tabelul A.7.1

| Tipul liniei | Valorile coeficienților de repartiție. Materialul conductoarelor de protecție | |
|---|---|---|
| | Oțel | Oțel - Aluminiu |
| LEA 110 kV simplu şi dublu circuit şi LEA 220 kV, dublu circuit cu un conductor de protecție | 0,20 - 0,24 | 0,08 - 0,12 |
| LEA 220 kV şi 400 kV simplu circuit, cu două conductoare de protecție | 0,10 - 0,12 | 0,04 - 0,06 |

**ANEXA 8**

## A.8 <u>Verificarea parametrilor unei instalații de legare la pământ</u>

A.8.1. Verificarea unei instalații de legare la pământ trebuie să se efectueze numai prin măsurări pentru determinarea principalilor parametrii cum sunt:

a) rezistența de dispersie $R_p$;

b) tensiunea totală $U_p$, tensiunile de atingere $U_a$, tensiunile de pas $U_{pas}$, tensiunile prin cuplaj rezistiv;

c) continuitățile electrice a legăturilor dintre elementele instalației de legare la pământ cum sunt:

- legăturile la prizele de pământ;
- legăturile în rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ;
- legăturile de ramificație de la elementele care trebuie legate la conductoarele principale de legare la pământ;
- legăturile între prizele de pământ ale obiectivelor din incintă;
- legăturile conductoarelor de protecție ale LEA la prizele de pământ ale stațiilor de la capete.

A.8.2. Pentru efectuarea măsurărilor privind rezistențele electrice de dispersie a prizelor de pământ, precum şi privind determinarea tensiunilor $U_p$, $U_a$, $U_{pas}$ şi a coeficienților de atingere $k_a$ şi de pas $k_{pas}$ trebuie realizate totdeauna două prize de pământ de măsurare ajutătoare şi anume :

- o priză de pământ auxiliară $P_A$ pentru închiderea circuitului curentului de măsurare;
- o priză sondă $P_S$ pentru realizarea unui punct de referință pentru tensiunile de măsurare.

În cazul trecerii unui curent electric **I** printr-o priză de pământ, <u>solul din vecinătatea electrozilor prizei respective opune practic rezistența electrică totală la trecerea acestui curent;</u> rezistența electrică a electrozilor prizei este neglijabilă față de rezistența electrică a solului prin care se închide curentul disipat de priza de pământ respectivă.

Dacă se consideră densitatea de curent **j,** exprimată prin raportul dintre curentul electric **I** şi secțiunea **S** prin care acesta trece $j = \frac{I}{S}$, densitatea de curent este maximă în imediata apropiere a electrozilor şi scade pe măsura îndepărtării de electrozii prizei, deoarece secțiunea S din sol creşte continuu. La o anumită distanță de electrozii prizei densitatea de curent j devine practic egală cu zero; se consideră că se anulează, când secțiunea din sol este practic foarte mare.

Zona în care densitatea de curent este practic nulă se consideră zonă de potențial nul. În conformitate cu pct.1.4.1 din STAS 8275-87 zona de potențial nul (sau pământul de referință) este zona în care tensiunea între două puncte ale suprafeței solului este mai mică de 0,3 % din tensiunea totală a prizei la trecerea curentului de defect prin aceasta.

Rezistența electrică pe care o opune solul la trecerea curentului prin priza de pământ, numită rezistență de dispersie a acesteia, este cuprinsa între suprafețele electrozilor prizei de pământ prin care trece curentul în pământ şi zona de potențial nul.

Prin noțiunea de priză de pământ se înțelege atât electrodul (sau electrozii) acesteia cât şi solul din vecinătatea suprafeței electrodului (electrozilor) până în zona de potețial nul.

Punctele de pe suprafața solului cuprinse în acest interval (între electrozii prizei şi zona de potențial nul) au potențialele electrice diferite. Potențialele cele mai mari vor fi chiar la electrozii prizei şi devin practic egale cu zero în zona de potențial nul. Diferențele de potențiale reprezintă tensiuni pe rezistența electrică constituită din solul cuprins între suprafața electrozilor prizei şi zona de potențial nul.

În cazul trecerii curentului printr-o priză de pământ, tensiunea totală a acesteia $U_p$ reprezintă produsul dintre rezistența electrică a pământului $R_p$ (numită rezistența de dispersie a prizei) şi curentul de punere la pământ $I_p$:

$$U_p = R_p \cdot I_p$$

Se neglijează rezistența electrică proprie a electrozilor din care este constituită priza de pământ deoarece rezistivitatea acestora este mult mai mică decât rezistivitatea solului. Rezistivitatea oțelului din care se execută în cele mai dese cazuri electrozii prizelor este $\rho_{ol} \cong 2 \cdot 10^{-7}$ Ωm. Rezistivitatea solurilor cel mai des întâlnite este $\rho_s \cong 10^2$ Ωm. Rezultă un raport de ordinul $10^9$ între cele două categorii de rezistivități.

În cazul unui contact bun între electrozi şi solul înconjurător, rezistența de dispersie a prizei $R_p$ este practic determinată de rezistivitatea solului şi dimensiunile electrozilor, respectiv suprafața laterală a acestora prin care se disipează curentul.

După cum s-a arătat mai sus, solul din imediata apropiere a electrozilor prizei prezintă rezistența cea mai mare, deoarece curentul se închide prin suprafețe relativ mici şi anume cele oferite de suprafețele laterale ale electrozilor. Datorită acestui fapt densitățile de curent cele mai mari sunt în apropierea electrozilor. Pe măsura îndepărtării de aceştia, solul oferă suprafețe din ce în ce mai mari astfel încât densitățile de curent scad continuu. In aceiaşi măsură scad şi potențialele diferitelor puncte ale solului, acestea fiind proporționale cu densitățile de curent. La o anumită distanță de electrozii prizei se ajunge în zona unde potențialele sunt practic nule.

Dacă se măsoară potențialele la suprafața solului şi se trec în diagramă se obține o curbă a potențialelor. Mulțimea acestor curbe în jurul unei prize formează o suprafață de forma unui hiperboloid; este numită pâlnia potențialelor.

Ordonata unui punct de pe curba potențialelor reprezintă valoarea potențialului unui punct corespunzător de pe suprafața solului. Potențialul maxim este cel al electrodului prizei şi reprezintă chiar tensiunea totală a prizei $U_p$. Această tensiune se măsoară practic între electrodul prizei şi un punct din zona de potențial.

Pentru identificarea zonei de potențial nul se procedeaza astfel:
se citesc tensiunile pe voltmetrul U având o borna legată la electrodul prizei, iar a doua la o sondă care se mută la diferite distanțe de electrodul prizei. Pe măsura îndepărtării de acesta, valorile citite vor creşte continuu, însă din ce în ce mai încet. La depăşirea unei anumite distanțe, creşterile sunt foarte mici sau nesensibile astfel încât valorile citite sunt practic constante: înseamnă că s-a intrat în zona de potențial nul, iar valoarea citită reprezintă tensiunea totală a prizei $U_p = R_p \cdot I_p$. În conformitate cu standardul 8275-87 în esență zona de potențial nul se defineşte ca zona în care potențialele electrice, la trecerea unui curent prin priza de pământ sunt neglijabile față de potențialul electrodului (electrozilor) acesteia (condiderat ca potențialul cu valoarea cea mai mare).

A.8.3. Măsurarea **rezistenței de dispersie**

Pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ $R_p$ este necesară realizarea unui circuit electric de măsurare constituit din priza de pământ care se măsoară $R_p$ prin care trece în sol curentul de măsură, o altă priză de pământ prin care trebuie să se închidă curentul de măsură, numită priza auxiliară, notată cu $R_A$. Deci montajul de măsurare trebuie să cuprindă întotdeauna o sursă de energie electrică, priza de pământ supusă măsurării $R_p$ şi o priză de pământ auxiliară $R_A$.

Sursa de energie are tensiunea U. Tensiunea prizei de pământ care se măsoară se notează cu $U_p$ şi reprezintă diferența de potențial dintre potențialul electrodului (electrozilor) prizei şi potențialul considerat nul din zona de potențial nul.

Tensiunea prizei auxiliare se notează cu $U_A$ şi reprezintă diferența de potențial dintre potențialul electrodului (electrozilor) prizei auxiliare şi potențialul nul din zona de potențial nul.

Distanța dintre priza de pământ care este supusă măsurării $R_p$ şi priza auxiliară $R_A$ trebuie să fie suficient de mare astfel încât între cele două prize de pământ (electrozii şi solul din

vecinătatea acestora) să se afle o zonă de potențial nul în care potențialele să fie neglijabile față de potențialul electrozilor prizei $R_p$ cât şi față de potențialul electrozilor prizei $R_A$.

În acest mod tensiunea $U_p$ a prizei supuse măsurării este tensiunea pe rezistența de dispersie a acesteia $R_p$, iar $U_A$ a prizei auxiliare care este tensiunea pe rezistența de dispersie a acesteia din urmă $R_A$ . Suma celor două tensiuni $U_p$ şi $U_a$ este tensiunea sursei U (dacă se neglijează în sumă căderile de tensiune pe conductoarele de legătură a circuitului de măsură în care se stabileşte curentul de măsură $I_p$).

$U = U_P + U_A$ unde : $U_p = R_p \cdot I_p$ şi $U_A = R_A \cdot I_p$

Suprafața solului din jurul electrozilor prizei de pământ până în zona de potențial nul se numeşte *zona de influență a prizei de pământ.* Intinderea acestei zone diferă mult de la o priză la alta şi depinde de forma, dimensiunile şi adâncimile de îngropare a electrozilor prizei de pământ.

Dacă se continuă măsurarea potențialelor spre priza auxiliară A (deplasându-se sonda S din zona de potențial nul) se intră în zona de influență a prizei auxiliare A.

Raportul dintre tensiunea totală $U_p$ a prizei supuse măsurării (când priza sondă $P_s$ se află în zona de potențial nul) şi curentul de măsură $I_p$ reprezintă rezistența de dispersie a prizei de pământ $R_p$:

$$R_p = \frac{U_p}{I_p}$$

Deci pentru determinarea valorii rezistenței de dispersie $R_p$ se va avea în vedere ca voltmetrul să se conecteze între electrodul (electrozii) prizei supuse măsurării şi sonda S introdusă în zona de potențial nul.

În cazul în care nu se stabileşte cu exactitate zona de potențial nul, valorea obținută pentru rezistența de dispersie $R_p$ va fi eronată. Eroarea va fi cu atât mai mare cu cât sonda S se introduce în sol la o distanță mai mare față de zona de potențial nul astfel:

a) - dacă se introduce sonda S într-un punct k din zona de influență a prizei de pământ $R_{pm}$ supusă măsurării, valorile obținute vor fi mai mici decât cea reală $R_p$ deaorece pe voltmetru se va citi valoarea $U_p - U_k$ unde $U_k$ este potențialul punctului k.

$$R_{pm} = \frac{U_p - U_k}{I_p} = R_p - R_k, \text{ unde:}$$

$R_k$ - este porțiunea de rezistență electrică a solului cuprinsă între punctul k şi zona de potențial nul.

b) - dacă se introduce sonda S într-un punct k din zona de influență a prizei auxiliare, valorile obținte $R_{pm}$ vor fi mai mari decât cele reale deoarece pe voltmetru se va citi valoarea $U_p + U_k$, unde $U_k$ este potențialul punctului k.

$$R_{pm} = \frac{U_p + U_k}{I_p} = R_p + R_k, \text{ unde:}$$

$R_k$ - este aici porțiunea de rezistență electrică a solului cuprins între punctul k din zona de influență a prizei auxiliare A şi zona de potențial nul.

Erorile cele mai mari vor rezulta când rezistența de dispersie $R_p$ este mult mai mica decât cea a prizei auxiliare A. De exemplu dacă $R_{ps}$ este de ordinul ohmilor (1...9 ohmi) şi $R_A$ este de ordinul sutelor de ohmi (100...900 ohmi) intrarea cu sonda S chiar foarte puțin în zona de influență a prizei auxiliare A eroarea poate fi deosebit de mare, de ordinul ohmilor. De exemplu, dacă valorile reale sunt $R_p$ = 3 ohmi şi $R_A$ = 300 ohmi, iar sonda S se introduce în zona de influență a prizei

auxiliare A într-un punct k care ar conduce la $R_k$ = 30 ohmi, ceea ce reprezintă doar 10% din $R_A$. Într-un astfel de caz ar rezulta la măsurare:

$$R_{pm} = R_p + R_k = 3 + 30 = 33 \text{ ohmi},$$

ceea ce reprezintă o valoare deosebit de mare faţa de cea reală de 3 ohmi; eroarea va fi de ≅ 1000%, ceea ce este cu totul neacceptabil. Astfel de erori pot apare cu uşurinţă în special în cazul prizelor de pământ cu electrozii dispersaţi pe întindere de teren mare cum este cazul stâlpilor de JT ale căror prize de pământ sunt legate între ele prin conductorul de nul al LEA de JT; se are în vedere cazul în care valoarea rezistenţei de dispersie $R_A$ este mult mai mare decât cel al valorii rezistenţei de dispersie echivalente $R_p$ a prizelor supuse măsurării.

Orice montaj electric pentru măsurarea rezistenţei de dispersie a unei prize de pământ trebuie să cuprindă:

- o sursă de energie electrică pentru stabilirea unui curent de măsură prin priza de pământ supusa măsurării;
- o priză auxiliară $P_A$ pentru închiderea curentului de măsură $I_p$;
- o priză sondă $P_S$ pentru măsurarea diferenţelor de potenţiale faţă de punctul de referinţă din zona de potenţial nul;
- aparate de măsură pentru următoarele două variante:

a) - citirea curentului de măsură $I_p$ cu ajutorul unui ampermetru şi a diferenţei de potenţial (tensiunea prizei) $U_p$ cu ajutorul unui voltmetru; în acest caz se determină valoarea rezistenţei de dispersie $R_p$ din raportul: $R_p = \frac{U_p}{I_p}$, cu metoda cunoscută sub denumirea de metoda volt - ampermetru;

b) - citirea directă a valorii rezistenţei de dispersie $R_p$, în cazul aparatelor speciale pentru măsurarea rezistenţelor de dispersie, cu patru borne, din care două pentru stabilirea curentului de măsură (o bornă pentru priza supusă măsurării şi o bornă pentru priza auxiliară) şi două borne de potenţial (o bornă pentru electrozii prizei supuse măsurării şi o bornă pentru priza sondă S).

### A.8.4. **Determinarea potenţialelor $U_k$ a tensiunilor de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$**

***Pentru determinarea potenţialelor $U_k$ şi a tensiunilor de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$*** este necesar să se determine modul de distribuţie a potenţialelor la suprafaţa solului în zona de influenţă a prizei de pământ supuse măsurării. Se foloseşte în acest scop acelaşi montaj (expus mai sus) pentru determinarea rezistenţei de dispersie $R_p$.

Valorile potenţialelor $U_k$ se pot determina în două variante:

a) **-** măsurarea diferenţei de potenţial (tensiunea) faţă de zona de potenţial nul $U_c = U_k$;

b) - măsurarea diferenţei de potenţial faţă de un punct al electrozilor prizei de pământ când $U_c = U_p - U_k$ ; $U_p = U_c + U_k$.

Prin $U_c$ s-a notat tensiunea citită pe voltmetru.

În ***varianta a)*** de mai sus valoarea $U_c$ (cea citită pe voltmetru) reprezintă chiar valoarea potenţialului $U_k$ în punctul de pe sol, deoarece s-a măsurat diferenţa de potenţial faţă de punctul de referinţă din zona de potenţial nul.

În ***varianta b)*** de mai sus voltmetrul este racordat la electrozii prizei de pământ supuse măsurării care are potenţialul $U_p$ şi la o sondă introdusă în punctul k de pe suprafaţa solului care are potenţialul $U_k$ care trebuie determinat cu relaţia $U_k = U_p - U_c$.

Potențialul $U_p$ reprezintă practic tensiunea față de zona de potențial nul şi deci reprezintă tensiunea $U_p$ a prizei supuse măsurării determinată prin citirea pe voltmetru când acesta este racordat la priza sondă S aflată în zona de potențial nul.

Rezultă că: $U_c = U_p - U_k$, iar $U_k = U_p - U_c$

Dacă se determină valorile potențialelor $U_k$ în diferite puncte de pe sol k, față de zona de potențial nul (într-un număr suficient de mare) se poate desigur obține diagrama de distribuție a potențialelor la suprafața solului. Se va putea obține curba de variație a potențialelor pe o anumită direcție, repectiv pe o linie dreaptă între un punct de pe suprafața electrozilor prizei de pământ şi un punct din zona de potențial. Din curbele pe diferite direcții se vor putea obține curbele de acelaşi potențial pe suprafața solului din vecinătatea prizei de pământ cuprinsă între suprafața terenului ocupată de aceasta din urmă şi zona de potențial nul.

**Tensiunea de atingere $U_a$** la care poate fi supus un om se va determina cu relația :

$U_a = U_p - U_k$, unde:

k - fiind punctul considerat de pe suprafața solului în care stă omul când atinge un obiect legat la priza de pământ.

**Tensiunea de pas $U_{pas}$** la care poate fi supus un om se va determina din relația:

$U_{pas} = U_{k1} - U_{k2}$,

$k_1$ şi $k_2$ - fiind două puncte de pe suprafața solului aflate la o distanță egală cu lungimea pasului considerat;

**Coeficientul de atingere $k_a$** prin definiție este:

$$k_a = \frac{U_p - U_k}{U_p}$$

**Coeficientul de pas $k_{pas}$** prin definiție este:

$$k_{pas} = \frac{U_{k1} - U_{k2}}{U_p}$$

unde notațiile sunt cele de mai sus.

Pentru măsurarea potențialelor $U_k$ la suprafața solului față de zona de potențial nul, este necesar ca voltmetrul să se lege între punctul k şi un punct din zona de potențial nul, măsurându-se astfel diferența de potențial dintre punctul k şi un punct de referință din zona de potențial nul.

Pentru determinarea tensiunii efective la care este supus omul $U_h$ trebuie să se țină seama atât de distribuția potențialelor la suprafața solului cât şi de rezistența de trecere a curentului prin tălpile omului $I_h$ la atingerea cu picioarele solul. Această rezistență se notează cu $R_d$ şi depinde de rezistivitatea solului.

În cazul determinării tensiunii de atingere, $R_{d\,a} = 1{,}5\rho$

În cazul determinării tensiunii de pas $R_{d\,pas} = 6\ \rho$

Rezistența corpului omului se consideră $R_h = 3000\ \Omega$

Prin definiție raportul $\frac{R_h + R_{d_a}}{R_h}$ se numeşte coeficient de amplasament la atingere şi se notează cu : $\alpha_a = 1 + \frac{R_{d_a}}{R_h}$.

Prin definiție raportul $\frac{R_h + R_{d_{pas}}}{R_h}$ se numeşte coeficient de amplasament de pas şi se notează cu : $\alpha_{pas} = 1 + \frac{R_{d_{pas}}}{R_h}$

Valoarea tensiunii la care este supus omul la atingere va fi :

$$U_{h_a} = R_h \cdot I_h = U_p \frac{k_a}{\alpha_a} \quad , \quad \text{iar la pas:} \quad U_{h_{pas}} = R_h \cdot I_h = U_p \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}}$$

Instalația de legare la pământ este corespunzătoare dacă $U_{h\,a} \leq U_a$ şi $U_{h\,pas} \leq U_{pas}$, unde $U_a$ şi $U_{pas}$ sunt valorile maxime admise de reglementările în vigoare la noi în țară.

Pentru determinarea valorilor $U_{h\,a}$ şi $U_{h\,pas}$ se pot folosi două variante de montaje la măsurări:

a) metoda indirectă
b) metoda directă

**Varianta a) metoda indirectă**

Aceasta metodă impune realizarea montajului voltmetru-ampermetru pentru determinarea următorilor parametrii:

- rezistența de dispersie $R_p$;
- tensiunea totală a prizei de pământ $U_p$ considerând curentul maxim de defect la priza respectivă $I_{p\,max}$ : $U_p = R_p \cdot I_{p\,max}$;
- coeficientul de atingere maxim $k_a$ şi cel de pas maxim $k_{pas}$ din distribuția potențialelor la suprafața solului obținută conform celor arătate mai sus.

Pentru determinarea coeficienților de amplasament $\alpha_a$ şi $\alpha_{pas}$ se foloseşte fie :

- calculul acestora în funcție de rezistivitatea solului :

$$\alpha_a = 1 + \frac{1{,}5\rho}{3000} \quad \text{şi} \quad \alpha_{pas} = 1 + \frac{6\rho}{3000}$$

- valorile indicate în standardul STAS 12604/5-90 în cazul acoperirii cu straturi izolante (pietriş, beton, asfalt) astfel:

  $\alpha_a = 2$ şi $\alpha_{pas} = 5$ pentru piatră spartă (balast) de 15 cm grosime;
  $\alpha_a = 3$ şi $\alpha_{pas} = 9$ pentru dale de beton;
  $\alpha_a = 5$ şi $\alpha_{pas} = 17$ pentru asfalt de 2 cm grosime.

Pentru determinarea tensiunii $U_{h\,a}$ şi $U_{h\,pas}$ se folosesc relațiile :

$$U_{h_a} = U_p \frac{k_a}{\alpha_a} \leq U_a \quad \text{şi} \quad U_{h_{pas}} = U_p \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}} \leq U_{pas}$$

**Varianta b) Metoda directă**

Această metodă impune ca montajul de măsurare să cuprindă următoarele elemente :

- sursa de energie electrică;
- un ampermetru pentru controlul permanent a intensității curentului;
- un voltmetru pentru măsurarea (citirea) directă a tensiunilor $U_{h\,a}$ şi $U_{h\,pas}$ pentru curentul $I_d$ de măsură;
- doi electrozi din placă metalică care simulează tălpile picioarelor omului având următoarele dimensiuni:
  * la placa rotundă $\Phi$ = 160 mm;
  * la placa pătrată a = 150 mm;
  * grosimea plăcilor g = 10 mm;
  * pe fiecare placă trebuie o greutate de 35 kg care simulează greutatea corpului omului;

- o rezistenţă $R_h$ = 3000 Ω, care simulează rezistenţa corpului omului; curentul rezistenţei se determină în funcţie de curentul $I_p$ de măsură.

În vederea determinării tensiunilor $U_{h\,a}$ şi $U_{h\,pas}$ pentru curentul maxim de defect $I_{p\,max}$ prin priza supusă măsurării este necesar ca valorile măsurate cu metoda directă să se multiplice cu raportul

$$K = \frac{I_{pmax}}{I_{pmăsură}} \text{ astfel :}$$

$$U_{h_a} = U`_{h_a} \frac{I_{pmax}}{I_{pmăs}} \le U_a \qquad \text{şi } U_{h_{pas}} = U`_{h_{pas}} \frac{I_{pmax}}{I_{pmăs}} \le U_{pas}$$

$U_a$ şi $U_{pas}$ fiind limitele maxime admise de reglementările în vigoare (standardele STAS 2612 - 87 şi STAS 12604/5-90).

Folosirea unui ampermetru pentru măsurarea directă a curentului $I_h$ în circuitul rezistenţei $R_h$, care simulează rezistenţa corpului omului, ar putea introduce erori mari la măsurări, dat fiind că în numeroase cazuri rezistenţa interioară a ampermetrului $r_a$ este comparabilă cu valoarea rezistenţei $R_h$.

Este necesar ca valoarea curentului $I_h$ să se obţină indirect prin măsurarea tensiunii $U`_h$ pe rezistenţa $R_h$ şi calcularea raportului tensiunii $U`_h/R_h$ , respectiv $I_h = U`_h/R_h$.

Rezistenţa interioară a voltmetrului $r_v$ trebuie să fie mult mai mare decât rezistenţa $R_h$ : $r_v >> R_h$ pentru o măsurare corectă: în acest scop este de preferat folosirea unui voltmetru electronic cu o rezistenţă interioară $r_v$ foarte mare, faţă de care valoarea rezistenţei $R_h$ este neglijabilă.

Pentru măsurările prin metoda directă pe lângă aparatele de măsură trebuie pregătite următoarele accesorii:

a) - rezistenţa $R_h$ care simulează rezistenţa corpului omului; este necesară folosirea unei rezistenţe cu valoarea fixă impusă de măsurare şi anume 3000 Ω (în cazul reglementărilor din ţara noastră). Rezistenţa $R_h$ a fost dimensionată, încât să fie stabilă la curentul de măsură pe durata măsurării.

Rezistenţa folosită trebuie să fie verificată cu un aparat de clasă 1 sau mai mică şi considerată astfel cu o rezistenţa etalon pentru măsurări.

b) - plăcile care simulează tălpile picioarelor omului care stă pe sol, se pot folosi două tipuri de plăci:

- placă rotundă cu diametrul d=0,16 m;
- placă pătrată cu latura a=0,15 m.

Este indicat ca sub aceste plăci (între placă şi suprafaţa solului) să se prevadă o placă din plumb deformabilă care să poată urmări eventualele denivelări ale suprafeţei solului pe care se aşează.

Fiecare placă se compune astfel din două componente:

- *partea superioară* confecţionată din placă din oţel, sau alt material de exemplu cupru, cu dimensiunile d=0,16 m la forma circulară a = 0,15 m la forma pătrată grosimea minimă trebuie să fie g=0,01m; pe aceste plăci se fixează o bornă pentru realizarea legăturilor electrice prin înşurubare asigurată cu şaibe şi piuliţe;
- *partea inferioară* confecţionată din tablă de plumb material având aceleaşi dimensiuni cu placa superioară din oţel sau cupru cu excepţia grosimii care are valoarea g=1,5...2mm (maxim) pentru a realiza un contact electric bun atât cu suprafaţa solului cât şi cu placa superioară.

Tehnica de executare a măsurărilor la instalaţiile de legare la pământ pentru determinarea rezistenţelor de dispersie $R_p$ a tensiunilor totale $U_p$ şi atensiunilor de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$, respectiv coeficienţii de atingere $k_a$ şi de pas $k_{pas}$, foloseşte de regulă surse electrice de joasă tensiune cum sunt:

- sursă de c.c. sau sursă cu generator propriu acţionat manual în cazul aparatelor de măsură specializate pentru determinarea rezistenţelor de dispersie ale prizelor de pământ;
- sursă separată de curent, folosindu-se un transformator de separare sau un grup electrogen, în cazul măsurărilor cu metoda volt-ampermetru.

În cazuri speciale pot fi determinate tensiunile $U_P$ , $U_a$ şi $U_{pas}$ respectiv $k_a$ şi $k_{pas}$ la trecerea prin priza de pământ a curentului de defect la tensiunea de lucru a instalaţiei respective; aceasta constituie o probă pe ″viu″.

În toate cazurile se efectuează măsurarea rezistenţei de dispersie a instalaţiilor de legare la pământ $R_{ps}$ şi a tensiunilor $U_p$, $U_a$ şi $U_{pas}$ în corelare cu determinarea distribuţiei potenţialelor în punctele unde tensiunile de pas pot fi cele mai mari cum sunt cele de la extremităţile instalaţiei de legare la pământ; pe suprafaţa reţelei de dirijare a potenţialelor în general $U_{pas} < U_a$.

Pentru efectuarea măsurărilor cu metoda volt-ampermetru trebuie folosit într-o primă etapă un aparat, specializat pentru măsurarea rezistenţelor de dispersie a instalaţiilor de legare la pământ. Cu ajutorul unui astfel de aparat se determină rezistenţele de dispersie a prizei de pământ care se verifică $R_p$, a prizei de pământ auxiliare $R_{pA}$ şi a prizei sondă $R_{ps}$. Cu valorile obţinute cu aparatul de măsurare a rezistenţelor de dispersie se poate aprecia curentul de măsură în măsurările cu metoda volt - ampermetru.

Metoda de măsurare volt- ampermetru necesită totdeauna o sursă de joasă tensiune, de măsurare care trebuie să fie independentă şi izolată galvanic de sursele de energie locale, care alimentează în exclusivitate montajul electric de măsurare.

În cazul folosirii montajului voltmetru - ampermetru sursele de energie pot fi:

- un transformator de separare de tensiune şi putere corespunzătoare; prin definiţie un transformator de separare alimentează un singur circuit electric; în cazul de faţă circuitul de măsurare;
- un grup electrogen de j.t. (120, 220 sau 380 V) (care alimentează în exclusivitate montajul electric de măsurare) de o putere corespunzătoare;
- un transformator (sau mai multe transformatoare în serie) de sudură care au înfăşurările primare separate de cele secundare;
- un grup convertizor la care generatorul electric este separat galvanic de motorul de antrenare.

Prin definiţie un transformator de separare alimentează un singur circuit electric; în cazul de faţă circuitul de măsurare.

Alegerea sursei de energie electrică se face ţinând seama de următoarele:

- tensiunea nominală a sursei U;
- valoarea estimativă a impedanţei echivalente a circuitului de ăsură $Z_m$

compus din: impedanţa echivalentă a conductorului dintre sursa de energie folosită şi priza auxiliară $Z_C$, rezistenţa de dispersie a prizei de pământ supusă măsurării $R_p$, şi rezistenţa de dispersie a prizei auxiliare $R_A$, impedanţa proprie a sursei de alimentare: $Z_m = Z_C + R_p + R_A$, $R_p$ şi $R_A$ fiind determinate conform celor arătate mai sus cu ajutorul aparatului specializat pentru măsurarea rezistenţelor,de dispersie a prizelor de pământ.

Valoarea impedanţei echivalentă a circuitului de măsură $Z_m$ depinde apreciabil de valoarea rezistenţei de dispersie a prizei auxiliare $R_A$.

Valoarea curentului de măsură se poate evalua (ca ordin de măsură) din relaţia $I_{pm} = U / Z_m$ unde U este tensiunea sursei de energie electrică. Valorile măsurate depind direct de valoarea curentului de măsură $I_{pm}$. Se are în vedere obţinerea unui curent de măsură cât mai mare posibil pentru obţinerea unor valori măsurate cât mai mari, respectiv a unor valori indicate de aparate cu erori cât mai mici posibile.

Valorile măsurate ale tensiunilor $U_{pm}$, $U_{am}$ şi $U_{pasm}$ se vor multiplica cu raportul K dintre curentul de calcul de punere la pământ I şi curentul de măsură $I_{pm}$ ($K = I_p / I_{pm}$). Valorile de calcul a tensiunilor sunt:

$U_p = KU_{pm}$

$U_a = KU_{am}$

$U_{pas} = Ku_{pasm}$

Trebuie astfel să se raporteze valorile determinate ale tensiunilor de atingere şi de pas la valorile calculate ale curenţilor de punere la pământ în cazul unui defect cu punere la pământ.

Mărimile de curent şi tensiune trebuie măsurate cu aparate (voltmetre şi ampermetre) de clasă 1 certificate metrologic şi validate de către S.C. Electrica - S.A. şi / sau C.N. Transelectrica - S.A.

Efectuarea măsurărilor printr-o probă ″pe viu″ cu un curent efectiv de defect la tensiunea liniei oferă rezultatele cele mai apropiate de realitate deoarece se pune în evidență valoarea rezistenței de dispersie reale care este totdeauna mai mică decât la măsurarea cu metoda volt - ampermetru cu sursă de joasă tensiune. La curenți mari se străpung cu arc electric toate spațiile dintre suprafața electrozilor şi solul înconjurător rezultând o rezistență de dispersie mai mică decât în cazul măsurărilor cu curenți de la o sursă de joasă tensiune.

Astfel în cazul când pentru curentul prin priza de pământ $I_{pm}$ se foloseşte o punere la pământ intenționată la priza de pământ supusă verificării folosindu-se ca sursă de alimentare linia respectivă se pune în evidență avantajul obținerii unor măsurări cu erorile cele mai mici, în special pentru determinarea rezistenței de dispersie $R_P$ şi deci şi a tensiunilor $U_p$, $U_a$ şi $U_{pas}$.

Măsurările în acest caz (al sursei de energie de înaltă tensiune) trebuie efectuate totdeauna cu instalații de înregistrare a mărimilor măsurate din următoarele motive:

- timpul măsurării este foarte scurt (0,2s...0,5s), dat fiind valoarea mare a curentului de punere la pământ ;
- necesitatea înregistrarii concomitentă a mărimilor ce trebuie măsurate, dată fiind variația în timp a curentului de măsură $I_{pm}$, variația în timp a rezistențelor de dispersie a prizelor de pământ $R_P$ şi $R_{pA}$ variația tensiunii rețelei de alimentare a punerii la pământ voite şi variația tensiunilor $U_p$, $U_a$ şi $U_{pas}$.

La măsurările cu sursă de înaltă tensiune totdeauna trebuie folosite reductoare de curent şi de tensiune şi transformatoare de separare (de izolare) pentru mărimile care se înregistrează pe oscilograf sau perturbograf digital.

**Pentru efectuarea măsurărilor <u>cu aparatul specializat de măsurat rezistența de dispersie a prizelor de pământ</u>** trebuie folosită o priză de pământ auxiliară de curent $P_A$ şi o priză sondă S de potențial ca punct de referință în zona de potențial nul. Se procedează în acelaşi mod ca şi la metoda volt-ampermetru. A se vedea cele arătate mai sus privind determinarea zonei de potențial nul şi de amplasare a prizelor de pământ auxiliare $P_A$ şi a prizelor sondă S de potențial (care constituie punctul de referință din zona de potențial nul).

În general aparatele specializate pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizelor de pământ au la fiecare aparat 4 borne astfel:

- două borne de curent $C_1$ şi $C_2$;
- două borne de tensiune $P_1$ şi $P_2$.

La borna de curent $C_1$ se racordează conductorul de legătură cu priza de pământ care se verifică.

La borna de curent $C_2$ se racordează conductorul de legătură cu priza de pământ auxiliară $P_A$.

La borna de potențial $P_1$ se racordează conductorul de legătură cu priza de pământ care se verifică.

La borna de potențial $P_2$ se racordează conductorul de legătură cu priza sondă S de potențial din zona de potențial nul.

În cazul în care la verificări se folosesc pentru legăturile conductoarelor de legătură, de lungime relativ mică (de ~ 50 m) la prizele auxiliare $P_A$ şi S, de regulă bornele $C_1$ şi $P_1$ ale aparatului se şuntează, fiind astfel necesar un singur conductor de legătură a aparatului cu priza de pământ care se verifică.

La unele aparate de construcție simplificată destinate pentru prize de pământ cu un electrod sau cu un număr mic de electrozi, din fabricație există o singură bornă accesibilă pentru legătura cu priza de pământ care se verifică, legăturile $C_1$ şi $P_1$ fiind şuntate în interiorul aparatului. Aparatul folosit trebuie să fie certificat metrologic şi validat de către S.C. ELECTRICA - S.A.

Cu ajutorul aparatului specializat de măsurarea rezistențelor de dispersie a prizelor de pământ trebuie să se verifice şi prizele de pământ auxiliare $P_A$ şi S astfel încât valorile rezistențelor de dispersie ale acestora să fie compatibile cu rezistența de dispersie a prizei de pământ în cauză.

Un aparat specializat de performanță (de regulă cu afişaj digital) trebuie să furnizeze informații (deosebit de importante privind rigurozitatea rezultatelor măsurărilor) prin indicarea următoarelor:

- depăşirea valorii limită a rezistenței de dispersie a prizei auxiliare $P_A$, respectiv a bunei legături electrice cu aceasta;
- depăşirea valorii limită a rezistenței de dispersie a prizei sondă S de potențial, respectiv a

bunei legături electrice cu aceasta;

- existența unei tensiuni, respectiv a unui curent perturbator, peste limita admisă pentru corecta funcționare a aparatului;
- descărcarea bateriei (acumulatorului) de alimentare a circuitului de măsurare, respectiv scăderea tensiunii de alimentare, sub limita admisă pentru funcționarea corectă a aparatului;
- întrepătrunderea zonelor de influență ale prizelor.

În cazul în care nu se dispune de un astfel de aparat, este necesar ca înainte de efectuarea măsurărilor să se verifice că sunt asigurate condițiile pentru buna funcționare a aparatului şi pentru obținerea unor rezultate corecte la efectuarea măsurărilor.

În toate cazurile este necesar ca, înainte de realizarea legăturilor electrice la bornele aparatului specializat pentru măsurarea rezistențelor de dispersie a prizelor de pământ, să se determine cu un voltmetru valoarea tensiunii perturbatoare $U_{P0}$ pe priza de pământ care se verifică, folosindu-se ca punct de referință priza sondă S amplasată în zona de potențial nul.

În cazul în care valoarea tensiunii perturbatoare $U_{P0}$ măsurate este mai mare decât cea admisă, în vederea efectuării în bune condiții a măsurărilor de verificare a prizelor de pământ este indicat să se scoată de sub tensiune instalația respectivă, sau să varieze frecvența sursei circuitului de măsurare.

Cu o aproximație acceptabilă, cu aparatul specializat pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizelor de pământ, se poate determina curba de potențiale ale prizei de pământ care se verifică, precum şi coeficienții de atingere $k_a$ şi de pas $k_{pas}$.

Se consideră valabile valorile $r_p$ citite la aparat când priza sondă S de potențial se află în diferite puncte din zona de influență a prizei de pământ care se verifică.

Se are în vedere că la măsurări cu aparatul specializat pentru măsurarea directă a rezistențelor de dispersie ale prizelor de pământ, curentul de măsură $I_m$, cu o aproximație accesibilă, se poate considera constant. În acest caz, deoarece $r_p = \frac{U}{I}$, rezultă că valoarea citită pe aparat când sonda S se află într-un punct k de pe suprafața solului din zona de influență a prizei de pământ care se verifică, este $r_{pk} = \frac{u_k}{i_m}$.

Pentru diferite puncte $k_1$, $k_2$ ... $k_m$ rezultă că se poate considera valoarea citită $r_{pkn}$ direct proporțională cu potențialul $U_{kn}$ deoarece practic se poate accepta că $i_m$ este constant în timpul măsurărilor.

În acest caz se poate scrie relațiile pentru coeficienții de atingere $k_a$ şi de pas $k_{pas}$ astfel:

$$k_a = \frac{R_{ps} - r_{pk}}{R_{ps}} \quad \text{şi} \quad k_{pas} = \frac{r_{pk1} - r_{pk2}}{R_{ps}}$$

Conscându-se valoarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ care se verifică $R_{ps}$ şi curentul maxim de defect prin priză $I_p$ se determină tensiunea totală de calcul a prizei $U_p$ cu relația: $U_p = R_{ps} \cdot I_p$.

Determinându-se coeficientul de atingere maxim $k_a$ şi de pas $k_{pas}$ conform celor arătate mai sus se determină tensiunea maximă de atingere $U_a$ şi de pas $U_{pas}$ cu relațiile:

$$U_a = k_a \cdot U_p \quad \text{şi} \quad U_{pas} = k_{pas} \cdot U_p$$

Pentru determinări riguroase se pot folosi plăci de contact cu solul în punctele k, folosindu-se schema de măsurare obişnuită, unde în locul sursei de alimentare a circuitelor de măsurare se consideră aparatul specializat pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizelor de pământ.

După efectuarea măsurărilor este necesar ca la determinarea rezistenței de dispersie $R_p$ să se țină seama de starea de umiditate a solului în timpul măsurării.

În conformitate cu standardul STAS 12604/5 - 90 anexa D, coeficientul care ține seama de umiditatea solului în timpul măsurării se notează cu $\psi$ şi are valorile din tabelul acestui standard, în funcție de adâncimea de îngropare a electrozilor prizei de pământ; se consideră electrozii care au cea mai mare pondere la determinarea rezistenței de dispersie $R_p$ a prizei de pământ.

În cazul unui defect cu curent de punere la pământ $I_p$ prin priza de pământ, în condiţiile de a se folosi o sursă independentă de energie, separată galvanic, există doar pericolul să apară o tensiune, în circuitul de tensiune, mai mare decât valoarea maxim admisă prin aparatele de măsurare a tensiunii, ceea ce va determina afectarea acestora.

Pentru protecţia personalului care participă la măsurări este suficientă măsura de a folosi cizme electroizolante.

La măsurările cu sursă de înaltă tensiune trebuie să se folosească reductoare de tensiune şi de curent corespunzător alese. A se vedea cele indicate privind folosirea de transformatoare de separare (de izolare) pentru mărimile care se înregistrează pe oscilografe sau perturbografe digitale.

După realizarea completă a circuitelor de măsurare şi de înregistrare şi înainte de închiderea întreruptorului de înaltă tensiune pentru stabilirea curentului $I_{pm}$, la măsurare se va retrage, respectiv se va îndepărta de punctul de injectare a curentului şi de aparatele folosite la măsurări.

După o perioadă de cel mult 0,3 ... 0,5 s, se va da comandă de deschidere a întreruptorului printr-un programator special de comandă de la distanţă introdus în circuitul de măsurare, prin care se va întrerupe curentul $I_{pm}$, bineînţeles dacă nu a avut loc înainte declanşarea întreruptorului prin protecţia de curent din staţia de alimentare.

A.8.5. <u>În staţiile electrice de înaltă tensiune de întindere relativ mare tehnica de executare a măsurărilor trebuie să cuprindă următoarele două etape</u>:

**ETAPA I** - lucrările preliminare în care să fie realizate următoarele :

a) măsurarea tensiunii perturbatoare $U_0$ pe instalaţiile de legare la pământ;

b) măsurarea tensiunii perturbatoare $U_0$ pe prizele de pământ ale ale stâlpilor aferente staţiei electrice, respectiv care sunt legate la priza de pământ complexă a acesteia din urmă de regulă, prin conductorul (conductoarele) de protecţie al LEA;

c) măsurarea rezistenţei de dispersie ale prizelor de pământ $R_p$, $R_{pA}$ şi $R_{pS}$ cu un aparat de măsură specializat pentru determinarea rezistenţelor de dispersie ale prizelor de pământ; certificat metrologic şi validat de către S.C. ELECTRICA - S.A sau C.N. Transelectrica S.A;

d) de măsură în funcţie de valorile tensiunilor perturbatoare $U_0$, folosind una din următoarele pregătirea măsurărilor cu metoda volt-ampermetru, respectiv stabilirea soluţiei pentru injectarea curentului variante:

- de la un transformator de separare sau de la un grup electrogen folosind o priză de pământ auxiliară de curent $R_{pA}$ legată la un conductor (conductoarele) unei LEA de MT (fără conductor de protecţie) ;
- de la un transformator de separare sau de la un grup electrogen folosind o priză de pământ auxiliară amplasată în exteriorul staţiei la o distanţă suficient de mare şi legată la acesta printr-un conductor special destinat acestui scop; se va evita folosirea unui transformator de servicii interne Tsi, deoarece este deosebit de dificil de a fi izolat electric sigur (fără nici un cuplaj rezistiv) faţă de elementele legate la instalaţia de legare la pământ care se verifică prin măsurări.

e) analiza şi stabilirea soluţiei în cazul în care pentru injectarea curentului se impune executarea unor probe de scurtcircuit monofazat la tensiunea de lucru a reţelei (probă pe ″viu″);

**ETAPA II** - lucrările pentru executarea măsurărilor asupra instalaţiei de legare la pământ supusă verificării astfel:

- măsurarea rezistenţei de dispersie a instalaţiilor de legare la pământ $R_{pS}$ şi a tensiunilor $U_p$, $U_a$ şi $U_{pas}$ prin metoda volt-ampermetru în corelare cu determinarea distribuţiei potenţialelor în punctele unde tensiunile de pas pot fi cele mai mari cum sunt cele de la extremităţile instalaţiei de legare la pământ; pe suprafaţa reţelei de dirijare a potenţialelor în general $U_{pas} < U_a$
- verificarea continuităţii instalaţiilor de legare la pământ prin metoda de injecţie a curentului de la un transformator de separare de putere corespunzătoare; se pot folosi transformatoare de sudură care sunt practic transformatoare de separare; în acest caz se leagă în serie două sau mai multe transformatore de sudură în funcţie de tensiunea U care trebuie obţinută la măsurări;

- verificarea continuității între două instalații de legare la pământ separate prin metoda de injecție a curentului de la un alt transformator de separare, respectiv de la un aparat de sudură.

De regulă probele şi măsurările pentru determinarea experimentală a rezistenței de dispersie $R_p$ şi a tensiunilor $U_p$, $U_a$ şi $U_{pas}$, trebuie făcută la un curent pentru care tensiunea măsurată pe priza de pământ $U_p$ respectă condiția $U_p > 10\ U_0$ (cu o eroare acceptabilă la măsurări de 5 %). In cazul în care la măsurarea rezistenței de dispersie $R_{pS}$ şi a $U_a$ şi $U_{pas}$ nu se poate respecta condiția ca $U_p > 10\ U_0$ atunci trebuie procedat la deconectarea surselor care determină apariția supratensiunii $U_0$ sau probele şi măsurările să fie executate cu înregistrarea mărimilor analogice (tensiune, curent) cu tehnica digitală de calcul pentru a aprecia faza tensiunii perturbatoare.

Se pot folosi următoarele relații de corecție dacă $U_p > 10\ U_0$:

a) Cazul folosirii pentru sursa de energie de joasă tensiune un transformator de separare (transformatoare de sudură) cu doi poli:

$U_p^2 = \frac{U_{p1}^2}{2} + \frac{U_{p2}^2}{2} - U_0^2$, unde $U_{p1}$ şi $U_{p2}$ sunt tensiunile citite pe voltmetru când sunt conexiunile stabilite inițial, respectiv când conexiunile se inversează la sursa de energie de joasă tensiune.

b) Cazul folosirii unui grup electrogen trifazat:

$U_p^2 = \frac{U_{p1}^2 + U_{p2}^2 + U_{p3}^2}{3} - U_0^2$, unde $U_{p1}$, $U_{p2}$ şi $U_{p3}$ sunt tensiunile citite pe voltmetru la trei măsurări folosind pe rând tensiunile fază-neutru la conexiunile cu cele trei faze ale generatorului.

<u>În etapa I se foloseşte un aparat, specializat pentru măsurarea rezistențelor de dispersie</u> cu ajutorul căruia se determină cu o aproximație acceptabilă rezistențele de dispersie a prizei de pământ care se verifică $R_p$, a prizei de pământ auxiliare $R_{pA}$ şi a prizei sondă $R_{pS}$. Cu valorile obținute cu aparatul de măsurare a rezistențelor de dispersie se poate aprecia curentul de măsură în măsurările cu metoda volt - ampermetru.

<u>Metoda de măsurare (volt- ampermetru)</u> necesită o sursă de joasă tensiune care poate fi:

- un transformator de separare de tensiune şi putere corespunzătoare ;
- un grup electrogen de j.t. (120, 220 sau 380 V) (care alimentează în exclusivitate montajul electric de măsurare) de o putere corespunzătoare;
- un transformator (sau mai multe transformatoare în serie) de sudură care au înfăşurările primare separate de cele secundare;
- un grup convertizor la care generatorul electric este separat galvanic de motorul de antrenare.

Sursa de energie electrică din montajul electric de măsurare trebuie să fie independentă şi izolată galvanic de sursele de energie locale, care alimentează în exclusivitate montajul electric de măsurare.

În cazul folosirii montajului voltmetru - ampermetru se pot determina valori acoperitoare şi are avantajul important că se poate considera ansamblul instalației verificate de legare la pământ practic echipotențiată deoarece nu intervin impedanțele homopolare.

Prin definiție un transformator de separare alimentează un singur circuit electric; în cazul de față circuitul de măsurare. După cum s-a arătat mai sus se va evita folosirea unui transformator de servicii interne din stație deoarece este extrem de dificil să poată avea rolul unui transformator de separare.

Alegerea sursei de energie electrică se face ținând seama de următoarele:

- tensiunea nominală a sursei U;
- valoarea estimată a impedanței echivalente a circuitului de măsură $Z_m$

compus din: impedanța echivalentă a conductorului dintre sursa de energie folosită şi priza auxiliară $Z_C$, rezistența de dispersie a prizei de pământ supusă măsurării $R_p$, şi rezistența de dispersie a prizei auxiliare $R_A$, impedanța proprie a sursei de alimentare: $Z_m = Z_C + R_p + R_A$, $R_p$ şi $R_A$ fiind determinate conform celor arătate mai sus cu ajutorul aparatului specializat pentru măsurarea rezistențelor, de dispersie a prizelor de pământ.

Trebuie analizate două tipuri de scheme pentru injecția curentului prin instalațiile de legare la pământ de la sursa de curent :

- schema bloc folosindu-se conductoarele LEA de MT simplu circuit şi fără conductor de protecție pentru legarea la o priză de pământ auxiliară îndepărtată;
- schema bloc folosindu-se o priză de pământ auxiliară amplasată în exteriorul stației.

De regulă ieşirea liniei de MT din stație se face cu cablu armat; în acest caz există posibilitatea să nu se poată realiza izolarea galvanică a mantalei cablului şi deci există posibilitatea unei circulații de curent şi prin aceasta din urmă existând riscul denaturării grave a rezultatelor măsurărilor.

Din acest motiv într-o astfel de situație pentru măsurarea rezistenței de dispersie a tensiunii de atingere $U_a$ şi a celei de pas $U_{pas}$ se poate folosi schema cu o priză de pământ auxiliară amplasată în exteriorul stației.

Amplasarea prizei de pământ auxiliară $P_A$ trebuie făcută la o distanță de peste 300 m distanță de gardul stației, într-o zonă cu teren viran (fără construcții în apropiere), iar amplasarea prizei sonda **S** (de potențial) trebuie făcut la peste 150 m distanță de gardul stației, respectând însă o distanță de cel puțin 150 m între prizele $P_A$ şi **S**. Deosebit de important este să nu se intre cu priza sondă S în zona de influență a prizei auxiliare $P_A$.

La măsurarea tensiunilor $U_p$ (la determinarea rezistenței de dispersie $R_p$, respectiv a tensiunii $U_c$ la verificările continuităților electrice) totdeauna legătura voltmetrului la elementul verificat se va face direct la punctul de injectare a curentului de măsură. Mai exact conductorul voltampermetrului se va lega la punctul de injectare a curentului şi nu în alt punct al conductorului prin care trece curentul $I_{pm}$. În acest mod se evită includerea în valoarea citită pe voltmetru şi căderea de tensiune pe porțiunea conductorului de curent până la punctul de injecție în elementul verificat.

Astfel discontinuitățile, respectiv legăturile defectuoase, se identifică la punctele în care valoarea tensiunii citite $U_{pc}$ este mai mare decât cea considerată ca valoare $U_p$ de calcul pentru determinarea rezistenței de dispersie $R_p$ a prizei de pământ care se verifică. Curentul de injecție (intrare) în priza de pământ supusă măsurării este :

- în cazul sursei de energie electrică de joasă tensiune este curentul dat de această sursă acesta constituie curentul de măsură şi se notează $I_{pm}$;
- în cazul sursei de energie electrică de înaltă tensiune, este chiar curentul de scurtcircuit monofazat dat de această sursă în locul de punere la pământ (respectiv într-un punct al prizei de pământ supusă măsurării) şi se notează $I_K^1$; în general se realizează schema de alimentare astfel încât curentul la locul de punere la pământ să fie mai mare de 1000 A, dar totdeauna mai mic decât valoarea de calcul $I_{sc\,max}^1$. Pentru determinarea valorilor de calcul la un defect maxim, toate mărimile măsurate (curenți şi tensiuni $U_a$, $U_{pas}$ şi $U_R$) trebuie multiplicate cu un coeficient de corecție numit **coeficient de multiplicare.**

**Coeficientul de multiplicare** se notează cu litera K şi reprezintă următorul raport de multiplicare :

- în cazul sursei de energie electrică de joasă tensiune :

$$K = \frac{I_{sc\,max}^1}{I_{pm}}$$

- în cazul sursei de energie electrică de înaltă tensiune :

$$K = \frac{I_{sc\,max}^1}{I_K^1}$$ , unde

$I_{sc\,max}^1$ - este valoarea de calcul al curentului de scurtcircuit monofazat max. pentru stația respectivă ;

$I_{pm}$ - curentul prin priza de pământ de măsură cu sursă de joasă tensiune;

$I_K^1$ - curentul de scurtcircuit monofazat de măasură cu sursă de înaltă tensiune.

$I_P$ - este curentul de punere la pământ efectiv prin instalația de legare la pământ a stației la un scurtcircuit monofazat $I_{sc\,max}^1$:

$$I_p = I_{sc\,max}^1 - (I_N + I_{CP});$$

$I_N$ - componenta din curentul de scurtcircuit monofazat $I_{sc\,max}^1$ care se închide prin neutrele transformatoarelor legate la pământ în stației;

$I_{CP}$ - componenta din curentul de scurtcircuit monofazat $I_{sc\,max}^1$ care se închide prin conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene legate direct sau indirect la instalația de legare la pământ a stației.

Pentru curenții $I_{sc\,max}^1$, $I_P$, $I_N$ şi $I_{CP}$ valorile de calcul sunt cele determinate prin calcul şi sunt specifice stației care face obiectul verificării.

Dacă nu se cunosc curenții $I_P$, $I_N$ şi $I_{CP}$ (determinați) pentru stația în cauză se pot considera acoperitoare următoarele valori pentru curenții $I_N$ şi $I_{CP}$:

$$I_N = 0{,}1\,I_{sc\,max}^1 \text{ şi } I_{CP} = 0{,}1\,I_{sc\,max}^1$$

Rezultă pentru $I_P$ următoarea relație: $I_P = 0{,}8\,I_{sc\,max}^1$